Anwendungsorientierte Methoden für die Investitionsplanung in der Verkehrspolitik

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Grades eines Doktors
der
Wirtschafts- und Gesellschaftswissenschaften
durch die
Rechts- und Staatswissenschaftliche Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
Bonn

vorgelegt von
Steinheuer, Helmut Peter
aus Bonn

Bonn 1976

Anwendungsorientierte Methoden für die Investitionsplanung in der Verkehrspolitik

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Grades eines Doktors
der
Wirtschafts- und Gesellschaftswissenschaften
durch die
Rechts- und Staatswissenschaftliche Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
Bonn

vorgelegt von
Steinheuer, Helmut Peter
aus Bonn

Bonn 1976

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Prof. Dr. P. Schönfeld

Erstreferent: Prof. Dr. Dr. Dr. h. c. F. Voigt

Zweitreferent: Privatdozent Dr. J. Frerich

Tag der mündlichen Prüfung: 15. 11. 1976

G l i e d e r u n g

Seite

Einleitung 1

A. Der derzeitige Stand der Investitionsplanung im Verkehrssektor 6

I. Globale Problembeschreibung 6

II. Das Planungsobjekt
Beschreibung und Analyse des Verkehrssystems und seiner Funktionen 11

1. Begriffsbestimmung zur Charakterisierung von Systemen und Modellen 12

2. Definitionen zum Begriff Verkehr 16

3. Darstellung der Komponenten des Verkehrssystems 17

4. Formale Darstellung des Verkehrsvorgangs und seines zeitlichen Ablaufs 20

5. Analysehilfsmittel 23

6. Die Funktionen als zweite Beschreibungskategorie für das Verkehrssystem 27

7. Das Verkehrssystem aus der Sicht der unterschiedlichen Betrachter 29

8. Zum Problem der Erstellung eines mathematischen Gesamtmodells für das Verkehrssystem.. 30

9. Die Bedeutung der Systembeschreibung und ihre Verwendungsmöglichkeit bei der Investitionsplanung 31

Seite

III. Der Prozeß der Investitionsplanung und die speziellen Planungsverfahren 34

1. Klärung von Begriffen 34

2. Die klassischen Verfahren der Investitionsrechnung und die Grenzen ihrer Anwendung in der Verkehrspolitik 37

3. Der derzeitige Planungsprozeß 40

4. Prognoseverfahren und ihre Schwächen 44

5. Kritische Beurteilung der Aussagefähigkeit der Kosten-Nutzen-Analyse für die Verkehrspolitik 49

6. Folgerungen 51

IV. Untersuchung der Methoden des Operations Research im Hinblick auf ihre Verwendung bei der Investitionsplanung im Verkehrssektor 54

1. Wesensmerkmale des Operations Research 56

2. Lineare und nichtlineare Planungsrechnung .. 61

3. Spezialformen der Planungsrechnung 64

4. Graphen- und Netzwerktheorie 66

5. Graphentheoretische Beschreibung des Verkehrssystems 68

6. Netzplantechnik 69

7. Heuristische Planungsmethoden 73

8. Entscheidungsbaumverfahren 76

9. Zur Anwendung der Entscheidungsbaumverfahren bei einer flexiblen Investitionsplanung im Verkehr 77

10. Dynamische Programmierung 79

Seite

11. Branch and Bound-Verfahren 82

12. Spieltheorie 84

13. Folgerungen 85

B. Das Sollkonzept für die Investitionsplanung im Verkehrssektor. Erarbeitung von Anforderungen an den Planungsprozeß und die Methoden auf der Basis eines Problemkataloges 89

I. Die Einordnung der Verkehrspolitik in die Gesamtpolitik 90

II. Die Erarbeitung eines Zielsystems für die Verkehrspolitik 92

1. Das Zielsystem als theoretisches Problem 92

a) Die Bedeutung des Zielsystems 92

b) Begriffe 93

c) Zu beachtende Grundregeln bei der Erstellung eines Zielsystems 97

2. Spezielle Anforderungen an ein Zielsystem für die Verkehrspolitik 98

III. Die Operationalisierung (Quantifizierung) des Zielsystems 105

1. Globale Anforderungen 105

2. Die Leistung des Verkehrssystems als Bewertungskriterium 106

3. Das Begriffspaar Verkehrswertigkeit und Affinität und seine Quantifizierung 108

IV. Die Erfassung des bestehenden Verkehrssystems 113

V. Die Bereitstellung geeigneter Planungsmethoden und -hilfsmittel 116

VI. Die problemgerechte Planungsdurchführung und Erfolgskontrolle 124

Seite

C. Erarbeitung eines Grobkonzeptes für eine Verbesserung der Investitionsplanung in der Verkehrspolitik 128

I. Die Änderung der Fragestellung für die Verkehrsinvestitionsplanung 128

II. Die Verbesserung des Zielsystems für die Verkehrsinvestitionsplanung 131

1. Politische Grundsatzziele als Basis für die Zielsetzung in der Verkehrspolitik 131

2. Zielsysteme für die Investitionsplanung im Verkehrssektor 135

3. Praxisorientierte Operationalisierung der Ziele 139

III. Der Entwurf eines Bewertungsverfahrens für Verkehrsinvestitionen 142

1. Allgemeines 142

2. Die Nutzwertanalyse als Hilfsmittel für die quantitative Bewertung von Verkehrsinvestitionen 143

3. Erarbeitung einer Entscheidungsregel 148

4. Die Kosten-Nutzen-Analyse als Planungsinstrument 157

5. Der Einsatz der Methoden des Operations Research 158

6. Hilfsmittel aus der Theorie der Verkehrswirtschaft 163

IV. Hilfsmittel für den Planungsprozeß 167

1. Ist-Aufnahme und Ist-Analyse des bestehenden Verkehrssystems 167

Seite

2. Das EDV-gestützte Management-Informations-System als Planungshilfsmittel 171

3. Vorgehensweise beim Aufbau eines Management-Informations-Systems (MIS) für die Verkehrspolitik 173

4. Die Verwendung des MIS 175

5. Auswirkungen der Verwendung eines MIS 177

V. Vorschlag zur Planungsorganisation und Strukturierung 179

Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlußfolgerungen 182

Literaturverzeichnis ..... L 1

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41523713_0011

Anwendungsorientierte Methoden für die Investitionsplanung in der Verkehrspolitik

Einleitung

Die Verkehrspolitik der letzten Jahrzehnte wurde von ständig anwachsenden Verkehrsströmen bestimmt, die es erforderlich machten, daß die Kapazität des Verkehrssystems der ständig größer werdenden Nachfrage angepaßt wurde. Das Ziel, die Engpässe im Verkehrssystem zu beseitigen, mußte in Einklang gebracht werden mit dem Finanzbedarf, den die öffentliche Hand aufbringen konnte, ohne dabei die übrigen Aufgaben zu vernachlässigen. Da in der Hauptsache diese beiden Kriterien - Befriedigung der Nachfrage sowie Knappheit der finanziellen Mittel - bei der Investitionsplanung im Vordergrung standen, kam es oft zu Fehlinvestitionen sowie einer Fülle von unerfüllbaren Wünschen. Obwohl es von vornherein klar ist, daß die Träger der staatlichen Verkehrspolitik nicht den Ausbaubedürfnissen in einem an sich wünschenswerten Umfange nachkommen können, entstehen gerade über öffentliche Investitionsentscheidungen immer mehr Unbehagen und Kritik. Da es an geeigneten Entscheidungshilfen fehlt, besteht die Gefahr, daß Entscheidungen nicht auf Grund klar durchschaubarer Fakten getroffen, sondern z.B. durch den Druck von Interessengruppen erzwungen werden, obwohl solche Entscheidungen sehr viele andere Gruppen mit gegenteiligen Interessen belasten oder einschränken. Hier ist die Wissenschaft aufgerufen, die verantwortlichen Gremien in ihrem Bemühen zu unterstützen, eine solche Verkehrsinvestitionspolitik zu betreiben, die dem Ziel der Planung und Realisierung eines optimalen Verkehrssystems eher gerecht wird als die zur Zeit praktizierte Vorgehensweise.

Für eine solche Planung ist die Festsetzung von Prioritäten eine der wichtigsten Voraussetzungen. Die Wissenschaft kann und soll der Politik keineswegs die Entscheidungen abnehmen, sie sollte jedoch mit ihren Erkenntnissen, Lösungsmodellen und Analysemethoden dem Politiker im richtigen Augenblick die benötigten Entscheidungsunterlagen zur Beurteilung alternativer Möglichkeiten und Daten zur Kontrolle der Effizienz politischer Aktivitäten liefern, die das Rüstzeug für optimale Entscheidungen im Rahmen der politischen Möglichkeiten sind.

Es ist das Ziel der vorliegenden Untersuchung, zu fragen, ob die Fortschritte in der Theorie der Verkehrswirtschaft zusammen mit den mathematischen Methoden des Operations Research, den Fortschritten auf dem Gebiet der elektronischen Datenverarbeitung und den Erkenntnissen der Systemforschung zu einem geeigneten Entscheidungsinstrument für eine optimale Investitionsplanung verflochten werden können. Die oben angegebenen Wissenschaftszweige haben jeweils einen hohen Erkenntnisstand erreicht, es fehlt jedoch an einer solchen Zusammenführung der verschiedensten wissenschaftlichen Forschungsergebnisse, die es ermöglicht, den verkehrspolitischen Instanzen bei ihren vielfältigen praktischen Aufgaben zu helfen. Dies erscheint notwendiger denn je. Die ständig größer werdende Zahl von technisch möglichen Lösungen für ein Problem, immer höhere Aufwandsanforderungen für die technische Realisierung sowie die Pflicht des Politikers, die verfügbaren öffentlichen Mittel möglichst nutzbringend zu verwenden, machen neue Planungs- und Entscheidungshilfsmittel dringend notwendig.

Die Verfahren des Operations Research, der sich rasch weiterentwickelnde Computer mit seinen ständig steigenden Anwendungsmöglichkeiten sowie die Erkenntnisse, die in der Theorie der Verkehrswissenschaft in den letzten Jahren gewonnen werden konnten, bieten sich bei genauer Betrachtung geradezu an, die bisher mehr mit Fingerspitzengefühl getroffenen verkehrspolitischen Entscheidungen durch wissenschaftlich exakte Methoden

zu verbessern und vor allem transparenter zu machen. Bei der bisherigen Vorgehensweise wurden oft lediglich die egoistischen Ziele von Gruppen, Verbänden und Einzelpersonen verwirklicht. Es würde auch die Position des Politikers stärken, wenn er seine Entscheidungen wissenschaftlich begründen und somit objektiver und für viele verständlicher formulieren könnte.

Die Notwendigkeit, vor allem Investitionsentscheidungen auf dem Verkehrssektor mit Hilfe quantitativer Methoden durchzuführen, wird schon bei kurzer Betrachtung des derzeitigen Haushaltsvolumens deutlich. Wenn man ferner bedenkt, wie sehr die Verkehrsinvestitionen auf die Zukunft gerichtet sind und von welch herausragender volkswirtschaftlicher Bedeutung sie sind, müßte klar werden, daß Investitionsentscheidungen von diesem Umfang und derartiger Tragweite eingehender Wirtschaftlichkeitsanalysen bedürfen, und zwar in einem weitaus größerem Maße , als dies bisher der Fall war.

Eine früher nicht gekannte Schnelligkeit in der technischen Entwicklung und die Notwendigkeit der Analyse ihrer Auswirkungen ist ein weiterer Grund für die Anwendung neuer Planungsmethoden. Man steht jedoch hierbei aus den verschiedensten Gründen noch ganz am Anfang. Es gibt wenige Teilbereiche, bei denen eine solche Vielschichtigkeit von Einflußfaktoren einerseits sowie eine derartige Vielfalt von Zielsetzungen für eine optimale Planung andererseits zu beobachten sind wie gerade beim Verkehrssystem.

Ökonomisches Handeln sollte klare Planungsziele verfolgen. Die Tatsache, daß sich Entscheidungen nur dann finden lassen, wenn ein einwandfrei formuliertes objektives Zielsystem vorliegt, bringt weitere Erschwernisse mit sich. In unserem Falle kann nur ein multivariables Zielsystem den verschiedenen Zielsetzungen Rechnung tragen. Die Interdependenzen der Zielgrößen verursachen weitere Schwierigkeiten. Die Verwendung mathematischer

Modelle wird noch zusätzlich durch die Umwelteinflüsse, durch den Einfluß der Zeit sowie durch die Ungewißheit über das Verhalten der Menschen erschwert.

Die Untersuchung soll jedoch nicht nur dem Politiker Hinweise geben, den Einsatz mathematischer Methoden auf Teilgebieten zu überdenken und zu intensivieren, um die neuen Planungsmittel nutzbringend anzuwenden, sondern es wird hier auch aufgezeigt, daß dringend weitere Forschungsaktivitäten notwendig sind, die wohl in der Hauptsache nur von interdisziplinären Forschungsteams bewältigt werden können.

Für eine Arbeit mit der dargelegten Zielsetzung bietet sich der folgende Aufbau an.
Ausgehend von einer globalen Problembeschreibung wird der Ist-Zustand in der derzeitigen praktischen Verkehrsinvestitionsplanung erarbeitet. Dazu werden das Verkehrssystem und seine Funktionsweise problemgerecht dargestellt, und die verfügbaren Planungsmethoden werden im Hinblick auf ihre Verwendungsmöglichkeit untersucht.

Im zweiten Teil wird ein Sollkonzept dafür erstellt, wie die Investitionsplanung in der Verkehrspolitik wünschenswerterweise durchgeführt werden sollte. Gleichzeitig wird aber auch auf die Probleme aufmerksam gemacht, die der wünschenswerten Vorgehensweise entgegenstehen.

Die in den beiden ersten Teilen gewonnenen Erkenntnisse bilden die Grundlage für das im letzten Teil erarbeitete Grobkonzept für eine Verbesserung der Investitionsplanung in der Verkehrspolitik. Hier wird der Versuch gemacht, der verkehrspolitischen Praxis Wege aufzuzeigen, wie die Werkzeuge aus verschiedenen Wissenschaften (Theorie der Verkehrswirtschaft, Systemanalyse, Nutzwertanalyse, Operations Research, Informatik) durch sinnvolles Zusammenwirken zu einer besseren Investitionsplanung beitragen können. Daneben werden aber auch deutlich die Grenzen

dieser Verbesserungsmöglichkeit abgesteckt und die Stellen aufgezeigt, an denen nur durch gezielte weitere Forschung eine Beseitigung vorhandener Schwachstellen erreicht werden kann.

Auf die folgenden Punkte soll bereits an dieser Stelle besonders hingewiesen werden.

- Die vorliegende Untersuchung befaßt sich mit dem Verkehrssystem in seiner Gesamtheit und nicht - wie viele andere - mit Einzelfragen, denn nur eine Gesamtsystembetrachtung kann zu einer koordinierten und integrierten Gesamtplanung des Verkehrssystems führen und aufzeigen, welche verkehrspolitischen Aktivitäten zu wirtschaftlichen Erträgen und Verlusten führen.
- Die in der Untersuchung behandelte Problemstellung ist nicht nur von rein theoretisch-wissenschaftlichem Interesse, sondern tritt als praktisches Problem in der Verkehrspolitik auf.
- Die Untersuchungsziele dieser Arbeit beziehen sich sowohl auf eine Problemdarstellung als auch auf den Versuch einer Problemlösung. In Bezug auf ersteres werden die zu überwindenden Schwierigkeiten dargelegt. Bezogen auf letzteres werden die Schritte aufgezeigt, die für eine Problemlösung erforderlich sind.
- Die Vielfalt des relevanten Stoffes aus den verschiedenen Wissenschaftszweigen erfordert eine relativ starke eklektizistische Vorgehensweise in der Darstellung. Die Schwerpunkte hierbei wurden dort gesetzt, wo große Lücken zwischen dem bisherigen theoretischen Erkenntnisstand und dem bisherigen praktischen Wert der Wissenschaft für den handelnden Politiker bestehen, denn diese Untersuchung soll dazu beitragen, die vorhandenen Lücken zu schließen.

A. Der derzeitige Stand der Investitionsplanung im Verkehrssektor

I. Globale Problembeschreibung

Die größere Komplexität der Probleme in einem sozialen Staat zwingt den Politiker dazu, sich geeignete Werkzeuge zu schaffen, die ihm dabei helfen, seine Probleme zu bewältigen. Gerade in der heutigen Zeit sieht der Politiker, wie technologische und soziologische Veränderungen in sehr kurzen Zeiträumen über sehr große Entfernungen starke Auswirkungen zeigen. Politische Entscheidungsträger für weitreichende Entscheidungen suchen immer mehr nach neuen, besseren, umfassenderen und situationsgerecht anwendbaren Planungs- und Entscheidungswerkzeugen, da die bisherige Planung mehr auf Fingerspitzengefühl und Erfahrung beruhte. Es wird den Planungs- und Entscheidungsträgern immer klarer, daß diese bisherige Vorgehensweise nicht mehr vertretbar ist.

Das heutige Verkehrssystem unterliegt einer so raschen Veränderung, daß den planenden Politikern, die durch ihre Investitionsplanung im Verkehrswesen diese Veränderungen im Wesentlichen bestimmen, keine Zeit bleibt, Erfahrungen zu sammeln. Wegen der zentralen Bedeutung, die das Verkehrssystem für die Entwicklung unserer Gesellschaft besitzt, ist es dringend erforderlich, den Planungs- und Entscheidungsprozeß und die verwendeten Werkzeuge genauer zu untersuchen. Der hohe Finanzbedarf in den öffentlichen Haushalten erzwingt eine weitreichende Umorientierung und vor allem eine Erweiterung des Ziel- und Orientierungsrahmens für alle politischen Entscheidungen. Obwohl Investitionsentscheidungen im Verkehr vor allem von der öffentlichen Hand gefällt werden, ist ein planvolles Handeln hier zunächst mehr durch den Sachzwang (knappe Haushaltsmittel) erforderlich als durch eigenes Wollen der Politiker von innen her. Der Staat ist eine Institution, die eigene Interessen verfolgt und nicht unbedingt eine bessere Wahrnehmung der Interessen aller Bürger

zum Ziel hat. Ferner wird der Staat von Politikern regiert, deren Handlungsmotivation nicht immer einsichtig ist. Da aber in einer Demokratie die Politiker gewählt werden, dürfte ein angestrebter Stimmengewinn sicherlich die Entscheidungen wesentlich beeinflussen. Der Politiker wird versuchen, so zu entscheiden, daß der durch die Entscheidung zu erreichende Gewinn an Stimmen über einem möglichen Verlust liegt. Gerade die Verkehrsinvestitionspolitik muß wegen ihrer zentralen Bedeutung schwerpunktmäßig unter gesamtgesellschaftlichen Aspekten betrieben werden.

Die Verkehrspolitik ist zu einem großen Teil Investitionspolitik. "Moderne Verkehrspolitik ist zugleich auch in einem besonderen Sinne immer Gesellschaftspolitik."[1] Beim Versuch, die ökonomischen Zusammenhänge und Auswirkungen von Verkehrsinvestitionen zu erkennen, bereiten sowohl die wachsende Komplexität des Verkehrssystems an sich als auch die vielfältige ökonomische Bedeutung dieses Systems für unsere Gesellschaft[2] erhebliche Schwierigkeiten. Diese Erkenntnis ist aber für eine sorgfältig abgewogene und die Prioritäten richtig setzende Verkehrspolitik gerade heute notwendiger denn je. Zur Verdeutlichung der zentralen Bedeutung der Investitionspolitik auf dem Verkehrssektor sollen hier beispielhaft nur einige Fragen aufgeworfen werden.

- Wie können die ungeheuren Summen für Verkehrsinvestitionen in Einklang gebracht werden mit den Geldern, die zur Erfüllung der vielfältigen Staatsaufgaben notwendig sind? Dazu ist es notwendig, die Stellung (Bedeutung) des Sektors Verkehr gegenüber anderen Sektoren in der öffentlichen Planung zu erkennen.
- Sollten sich die politischen Ziele für Verkehrsinvestitionen ausschließlich am Verkehrswesen orientieren, oder ist der hohe Verflechtungsgrad des Verkehrswesens mit der Gesamtgesellschaft wesentlicher?

---

1) Der Bundesminister für Verkehr, Verkehrsbericht 1970, Bonn Oktober 1970, S. 26 (im folgenden zitiert als Verkehrsbericht 1970)

2) Siehe dazu: Voigt, F., Die volkswirtschaftliche Bedeutung des Verkehrssystems, Berlin 1960
Adam, A., Helten, E., Scholl, F., Kybernetische Methoden und Modelle, Köln und Opladen 1970, S. 7

- Inwieweit müssen verkehrspolitische Ziele z.B. angesichts der Ende 1973 deutlich spürbar gewordenen Energiekrise abgeändert bzw. ersatzlos gestrichen werden?
- Ist das Ziel der Verkehrswegeplanung: "Der Freiheitsspielraum des einzelnen muß gesichert werden und ihm die Wahl des Verkehrsmittels nach Art und Qualität überlassen bleiben."[1] verträglich mit den Zielen des Umweltschutzes und mit dem Problem der Energieknappheit, oder bedarf es einer Revidierung?

Die folgende Aussage von Jürgensen ist ebenfalls zur Verdeutlichung des Investitionsproblems geeignet. "Streng genommen ist jede Verkehrsinvestition zugleich Anpassungs- und Entwicklungsinvestition, ...doch kommen in den beiden politischen Strategien abweichende Zielvorstellungen für die Investitionsplanung zum Ausdruck ...."[2]

Ein wichtiger Grund dafür, daß der Verkehrspolitik bisher kein inhaltlich klar bestimmtes gesellschafts- und verkehrspolitisches Zielsystem zugrunde liegt, ist in der bisher betriebenen Forschung zu suchen. Diese "...orientierte sich zu sehr am Einzelfall und ließ bisher meist eine Einbettung in größere Zusammenhänge vermissen."[3] Bisher existieren mehr oder weniger deutlich formulierte allgemeine Prinzipien für die Verkehrspolitik, aus denen aber nur sehr schwer konkrete Investitionsziele abgeleitet werden können. Deshalb ist die Verkehrspolitik hier noch auf wissenschaftliche Forschungsergebnisse angewiesen, die als Entscheidungshilfen bei der Investitionsplanung verwendet werden können. Es existieren zwar Forschungsschwerpunkte wie Stadtverkehr, kombinierter Verkehr, Unfallursachenforschung, verkehrs- und bautechnische

---

1) Verkehrsbericht 1970, S. 62

2) Jürgensen, H., Probleme einer Investitionsplanung im Verkehr, in: Willeke, R., (Hrsg.), Wissenschaftliche Beratung der verkehrspolitischen Planung, Düsseldorf 1971, S. 93

3) Verkehrsbericht 1970, S. 31

Forschung, Meeresforschung, internationale Zusammenarbeit, Bundesverkehrswegeplanung[1], jedoch mangelt es an einer systematischen Grundlagenforschung, die durch interdisziplinäre Zusammenarbeit[2] der in Frage kommenden Fachbereiche eine Investitionsplanung nach einheitlichen Grundsätzen für alle Verkehrszweige konzipieren könnte. Aber gerade diese wird für eine optimale Investitionsplanung unbedingt benötigt.

Die Investitionsplanung zielt vor allem ab auf die folgenden Infrastrukturmaßnahmen:

- Verwirklichung des Bedarfsplans für die Bundesfernstraßen und deren kapazitätssteigernde Erweiterung
- Bau von S- und U-Bahnen in Ballungsräumen
- Volle Erschließung der Verdichtungsräume für den Individualverkehr
- Bau von kapazitätssteigernden Ergänzungsstrecken für die Bundesbahn
- Bau neuer Kanäle
- Bau neuer Regionalflughäfen
- Bau von Hochleistungsschnellbahnen
- Bau eines Pipelinesystems

Es ist jedoch illusorisch zu glauben, diese Infrastrukturmaßnahmen seien vollständig oder gar gleichzeitig zu verwirklichen.

Besonders zu bedenken ist bei der Investitionsplanung die schwerwiegende Tatsache, daß man sich durch einmal gefällte Investitionsentscheidungen für einen sehr langen Zeitraum bindet. Nachträgliche Abänderungen und Aufhebungen einmal getroffener Entscheidungen sind nur mit hohem Aufwand, meistens jedoch überhaupt nicht möglich. "So hat die Vergangenheit eindeutig gezeigt, daß die Hervorhebung gewisser Ziele, wie Eigenwirtschaftlichkeit oder Bevorzugung des individuellen vor dem

---

1) Verkehrsbericht 1970, S. 31 f.

2) Siehe dazu: Golz, G., Gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Verkehrswegeplanung, in: Internationales Verkehrswesen, 23. Jg., (1971) Heft 8

öffentlichen Verkehr im Personennahverkehr, zu einer unaufhaltsamen Reduzierung des Anteils der öffentlichen Verkehrsmittel am Gesamtverkehr führt und vor allem in den Verdichtungsräumen die Qualität des Lebens erheblich beeinträchtigt."[1)]

Obwohl es nicht schwerfallen würde, weitere Schwierigkeiten der Investitionsplanung auf dem Verkehrssektor hier aufzuführen, sollen die bisherigen Ausführungen zunächst für eine globale Problembeschreibung genügen. Uns interessieren jetzt vielmehr die Gründe, warum die Wissenschaft bisher nicht mehr zur Lösung des Investitionsproblems beisteuern konnte. Dazu bedarf es einer eingehenden Untersuchung des Verkehrssystems, der Investitionsplanung und der Methoden, die bis heute als Planungs- und Entscheidungswerkzeuge dem Politiker für seine Aufgaben zur Verfügung stehen.

1) Der Bundesminister für Verkehr (Hrsg.), Der Mensch hat Vorfahrt, Ein Konzept des Bundesministers für Verkehr Dr. Lauritz Lauritzen, Bonn o.J., S. 11

II. Das Planungsobjekt
Beschreibung und Analyse des Verkehrssystems und seiner Funktionen

Das Erkennen und Lösen des Investitionsproblems in der Verkehrspolitik wird wesentlich beeinflußt von der Vorstellung (Bild, Modell), welche man vom Verkehrssystem gewinnt. Deshalb werden zunächst die Grundlagen erarbeitet, die zu einer exakten Beschreibung des Untersuchungsgegenstandes notwendig erscheinen. Hierbei ist zuerst eine Beschäftigung mit dem Modell- und Systembegriff notwendig.

Gegenstand der Untersuchung ist das Verkehrssystem, das im folgenden Abschnitt beschrieben und analysiert werden soll. Um eine solche Beschreibung und Analyse vornehmen zu können, benötigen wir eine Sprache.
Die folgenden Sprachen und sprachlichen Hilfsmittel können für eine Systembeschreibung verwendet werden:

"Sprachen: Natürliche Sprache
Programmsprache
Mathematische Sprache

Sprachliche Hilfsmittel: Diagramme
Formulare und Tabellen
Koordinatendarstellung (Kurvendarstellung)
Technische Zeichnungen"[1)]

Gerade bei der Erforschung wissenschaftlicher Zusammenhänge hat die Formalisierung komplexer Systeme (d.h. die Systembeschreibung mit Hilfe der mathematischen Sprache) und ihrer Eigenschaften große Bedeutung.[2)]

---

1) Wedekind, H., Systemanalyse, München 1973, S. 51
2) Siehe dazu: Adam, A., Helten, E., Scholl, F., a.a.O., S. 65

1. Begriffsbestimmung zur Charakterisierung von Systemen und Modellen

System

Der Begriff "System" ist keinesfalls eindeutig. Man kennt die verschiedensten Systemarten, die alle verschieden aufgebaut sind und verschieden funktionieren. Ein System[1] ist ganz allgemein eine Menge von Elementen, die Systemkomponenten genannt werden und aufgrund gewisser Wechselwirkungen oder Abhängigkeiten miteinander in Beziehung stehen. Jedes System ist wiederum Teil (Komponente) eines übergeordneten Systems. Das umfassendste System ist das Universum. Betrachtet man ein bestimmtes System, so bilden die nicht erfaßten Komponenten, die das Verhalten des Systems auf mannigfaltige Weise beeinflussen, die Umwelt.

Der Zustand eines Systems ist durch die Zustände der Systemkomponenten definiert. Unter der Funktionsweise eines beliebigen Systems versteht man die Änderung seiner Zustände in einem bestimmten Zeitintervall $[t_0, t_1]$. Wenn man von einem System spricht, so meint man in der Regel das mathematische Modell eines realen Systems. Jedes System muß als einheitliches Ganzes aufgefaßt werden, obwohl es oft aus mehreren Teilsystemen besteht und einer Reihe von Zwecken dient.

In dieser Untersuchung sprechen wir z.B. von folgenden Systemen:

- Verkehrssystem
- Zielsystem
- Elektronisches Datenverarbeitungssystem
- EDV-gestütztes Informationssystem (Management-Informations-System)

---

1) Vgl. Niemeyer, G., Die Simulation von Systemabläufen mit Hilfe von Fortran IV, Berlin-New York 1972, S. 9 ff.

Das elektronische Datenverarbeitungssystem ist z.B. eine Komponente des umfassenderen EDV-gestützten Informationssystems.

Modell

Die Modellbildung ist eine der wichtigsten Voraussetzungen zur Untersuchung komplexer Erscheinungen. Man bedient sich ihrer, um unübersichtliche Zusammenhänge mit mehr oder minder großem Abstraktionsgrad vereinfacht wiederzugeben.[1] Die Abstraktion erreicht man durch eine Abbildung. Dabei wird jedem Element einer Menge von Gegebenheiten der realen Welt genau ein Element einer Menge von abstrakten Begriffen zugeordnet.[2] Die Modellbildung ist eine Zuordnungsvorschrift, bei der nicht nur die Elemente der Realität auf Elemente des Bildsystems abgebildet werden, sondern bei der auch die Beziehungen zwischen diesen realen Elementen und den entsprechenden Bildelementen erhalten bleiben müssen. (Eine derartige Zuordnungsvorschrift ist ein Homomorphismus.) Es müssen alle problemrelevanten Elemente und deren Beziehung untereinander bei der Abbildung erhalten bleiben. Ferner sind alle wesentlichen Beziehungen zur Umwelt unbedingt zu berücksichtigen.

Buslenko[3] unterscheidet zwischen der physikalischen und der mathematischen Modellierung.

Das physikalische Modell repräsentiert den zu untersuchenden Prozeß unter Beibehaltung seiner physikalischen Natur (z.B. Flugzeugmodelle im Windkanal) und hat somit nur einen begrenzten Anwendungsbereich.

Die mathematischen Modelle verfügen über vielfältigere Möglichkeiten. Mit ihrer Hilfe kann man Erscheinungen mit verschiedenem physikalischen Inhalt durch einheitliche mathematische Bezie-

---

1) Vgl. Kulhavy, E., Operations Research, Wiesbaden 1963, S. 96 ff.

2) Siehe dazu: Jaeger, A., Beziehungen zwischen Mathematik und Wirklichkeit in mathematischen Modellen von empirischen Strukturen, in: Proceedings in Operations Research, Vorträge der Jahrestagung 1971 DGU, Würzburg-Wien 1972, S. 15 - 33

3) Buslenko, N.P., Modellierung komplizierter Systeme, Würzburg 1972, S. 35 ff.

hungen beschreiben. Dem mathematischen Modell muß allerdings zunächst eine mathematische Beschreibung vorausgehen. Unter einem mathematischen Modell eines realen Systems versteht man dasjenige abstrakte, formal beschriebene Objekt, dessen Untersuchungen mit mathematischen Methoden möglich ist.

Churchman, Ackoff, Arnoff[1] unterscheiden drei Arten von Modellen:

- Bildhafte Modelle, die bildlich oder sichtbar die Eigenschaften eines Systems darstellen,
- Analogmodelle, die eine Reihe von Eigenschaften zur Darstellung einer anderen Reihe von Eigenschaften darstellen,
- Formale (mathematische) Modelle, die Symbole zur Bezeichnung der Elemente des untersuchten Systems benutzen und deren Beziehungen der Systemkomponenten untereinander in der Regel mathematischer (logischer) Natur sind.

Jede Modellbildung hat den Zweck, dem Menschen dabei zu helfen, Aussagen über Eigenschaften und Beziehungen der Elemente des betrachteten Systems zu machen. Seiner Betrachtung eines Systems liegt meist eine ganz spezielle Problemstellung zugrunde, für die das System konzipiert wurde. Der Mensch bildet sich eine Theorie. Dabei wird es notwendig, das untersuchte System je nach Zweck der Betrachtungsweise in einen bestimmten Modellrahmen zu zwängen.

Der Modellrahmen fordert in jedem Falle eine Vereinfachung des Systems im Hinblick auf die Realität. Diese Vereinfachung bringt eine Reihe von Gefahren mit sich, und man sollte sich darüber im Klaren sein, daß jedes Modell, das durch eine selektierende Abstraktion der Realität entsteht, die folgenden

---

1) Vgl. Churchman, C.W., Ackoff, R.L., Arnoff, E.L., Operations Research, 5. Auflage, München-Wien 1971, S. 151 ff.

Schwachstellen bzw. Fehler enthalten kann:

- Es werden Elemente berücksichtigt, die für die Untersuchung nicht relevant sind.
- Wesentliche Elemente werden vernachlässigt.
- Die Abhängigkeiten und Beziehungen der Elemente untereinander sind falsch dargestellt.
- Das Modell ist zu grob für die anzustellende Untersuchung.
- Das Modell ist so fein, daß die Realität exakt abgebildet wird. Folglich ist das Modell genau so schwer zu handhaben wie die Realität selbst.
- Es liegen bereits Fehler im Modellansatz. Oft wird die Realität verzerrt, damit das Modell stimmt.
- Nichtlineare Sachverhalte werden in eine lineare Form gezwängt.
- Stochastische Prozesse[1] werden durch vereinfachte deterministische Modelle[2] dargestellt.
- Die Umkehrabbildung des Modells und der Untersuchungsergebnisse am Modell auf die Realität ist falsch. da keine umkehrbar eindeutige Abbildung vorliegt.
- Lokal gültige Modelle werden auf größere Bereiche verallgemeinert.

Nach diesen allgemeinen Betrachtungen zum Modell- und Systembegriff und dem Aufzeigen der Schwierigkeiten und Fehlerquellen beim Erstellen und bei der Benutzung von Modellen wird im folgenden das Verkehrssystem untersucht und ein formales Modell zu seiner Beschreibung erarbeitet.

---

1) Stochastischer Prozeß: Hierbei ist der Anfangszustand bekannt, die Zukunft ist aber nicht eindeutig bestimmt, da zufällige Größen auf den Prozeß einwirken.

2) Deterministischer Prozeß: Hierbei ist die Zukunft eines Prozesses ganz durch die Gegenwart bestimmt.

2. Definitionen zum Begriff Verkehr

Verkehrsbedürfnis, Verkehr

Zum Leben des Menschen ist die tägliche Nahrung ebenso notwendig wie die Gemeinschaft mit seinen Mitmenschen. Materieller und geistiger Austausch mit der Umwelt bildet die Grundlage für unser menschliches Leben. Hierin liegt die Ursache für alle im Menschen vorhandenen und neu entstehenden Bedürfnisse.[1] Der Mensch strebt danach, diese seine Bedürfnisse zu befriedigen. Er wird aktiv. Dabei wird die Raumüberwindung (Ortsveränderung) von Personen, Gütern, Energie und Informationen - also Verkehr - erforderlich.[2]

Verkehrsspannung

Die feste geographische Lage der Rohstoffe, die arbeitsteilige Wirtschaft, die Bevölkerungsentwicklung, Siedlungsstruktur und Raumordnung sowie die Lebensgewohnheiten der Menschen sind Gründe dafür, daß bestimmte Verkehrsspannungen permanent vorhanden sind.

Verkehrsvorgang

Die Verkehrsspannung zwischen zwei Punkten unserer Erde erzeugt Verkehrsvorgänge, die die Verkehrsspannungen ganz oder teilweise beseitigen. Hierzu muß sich das zu transportierende Gut (Person, materielles Gut, Information) zwecks Raumüberwindung mit einem Verkehrsmittel (z.B. Eisenbahn, Schiff, Flugzeug) verbinden.

Verkehrseinheit

Eine Verkehrseinheit ist ein Verkehrsmittel, das sich auf den Verkehrswegen bewegt und an Stationen be- oder entladen, bzw. aufgehalten oder umgeleitet wird.

---

1) Vgl. Werner, Ch., Zur Geometrie von Verkehrsnetzen, Berlin 1966 S. 24

2) Voigt, F., Verkehr, Erster Band, Erste Hälfte, Berlin 1973, S. 34 ff.

Verkehrssystem

Voigt definiert: " Unter einem Verkehrssystem verstehen wir das Zusammenwirken der technischen und organisatorischen Einrichtungen in einem bestimmten Raum, die der Raumüberwindung von Personen, Gütern und Nachrichten dienen."[1)]

Für die Zwecke unserer Untersuchung ist diese Definition zu formalisieren. Gerade bei der Erarbeitung von Methoden, die geeignet sind, die Funktionsweise komplizierter Systeme[2)] zu untersuchen, ist es notwendig, die systemtheoretische Terminologie zur Definition heranzuziehen. Ferner muß Klarheit herrschen über die Gesamtstruktur des Verkehrssystems, sowie über die wechselseitigen Beziehungen der Systemkomponenten untereinander und die Wechselwirkungen zwischen den Systemkomponenten und der Umwelt.

3. Darstellung der Komponenten des Verkehrssystems

Verbale Beschreibung

Das Verkehrssystem setzt sich aus folgenden typischen Systemkomponenten zusammen[3)]:

- Die Verkehrseinheiten sind die mobilen Systemkomponenten. Sie bewegen sich durch den Verbund der stationären Komponenten des Verkehrssystems und verursachen eine kontinuierliche Zustandsänderung des Systems.
- Die Bearbeitungs- und Bedienungsstationen werden von den Verkehrseinheiten belegt, eine gewisse Zeit beansprucht und dann wieder freigegeben.
- Warteschlangen von Verkehrseinheiten entstehen vor Stationen mit begrenzter Speicher- oder Verarbeitungskapazität.

---

1) Voigt, F., a.a.O., S. 36
2) Siehe dazu: Buslenko, N.P., a.a.O., S. 15 ff.
3) Siehe dazu: Niemeyer, G., a.a.O., S. 19 ff.

- Die Systemkomponenten, bei denen die Bewegung (Bewegungsrichtung) von Verkehrseinheiten in Abhängigkeit von bestimmten Zuständen oder Eigenschaften anderer Systemkomponenten oder in Abhängigkeit von exogenen Daten (z.B. Zeit, Zufall) blockiert, umgeleitet oder weitergeleitet wird, heißen Verkehrsleitstellen.
- Zwischen den einzelnen Bedienungs- und Bearbeitungsstationen sowie den Verkehrsleitstellen gibt es Verkehrswege, auf denen sich die Verkehrseinheiten durch das System bewegen. Sie sind die verbindenden Komponenten (z.B. Straßen, Eisenbahnlinien sowie Kabel- und Funkstrecken für den Nachrichtenverkehr).

Gerade die Verkehrswege verdienen wegen ihrer wesentlichen Bedeutung bei der Investitionsplanung besondere Beachtung. Ihre meist begrenzte Kapazität, ihre unterschiedlichen Eigenschaften bezüglich verschiedener Transportarten und ihre Störanfälligkeit haben wesentlichen Einfluß auf die Funktionsfähigkeit des Verkehrssystems.[1)]

Nach diesen Überlegungen wird klar, daß das Verkehrssystem die spezifischen Merkmale aufweist, die nach Buslenko[2)] ein kompliziertes System charakterisieren:

- eine große Zahl miteinander verbundener und wechselseitig zusammenwirkender Elemente,
- die Kompliziertheit der Funktionen, die vom System auszuführen sind, um die vorgegebenen Ziele zu erreichen,
- die Möglichkeit, das System in Teilsysteme zu zerlegen, deren Funktionsziele dem Funktionsziel des Gesamtsystems untergeordnet sind,

---

1) Siehe dazu: Ventker, R., Die ökonomischen Grundlagen der Verkehrsnetzplanung, Göttingen 1970, S. 19
Hier wird dem Verkehrsnetz ähnliche Bedeutung beigemessen wie den Maschinen im Produktionsprozeß der Industriebetriebe.

2) Vgl. Buslenko, N.P., a.a.O., S. 21

- das Vorhandensein einer Wechselwirkung mit der Umwelt und des Funktionierens unter den Bedingungen des Einwirkens von Zufallsfaktoren.

Formale Darstellung der Systemkomponenten und ihrer Zustände

Es soll nun eine formale Darstellung für die Systemkomponenten erarbeitet werden.

V sei das Verkehrssystem.

$VE := \{ ve_1, \ldots ve_A \}$ sei die Menge der Verkehrseinheiten. Hierbei ist A die Anzahl der Verkehrseinheiten.

$VW := \{ vw_1, \ldots, vw_B \}$ sei die Menge der Verkehrswegstrecken. Hierbei ist B die Anzahl der Wegstrecken.

$VL := \{ vl_1, \ldots, vl_\Gamma \}$ sei die Menge der Verkehrsleitstellen. Hierbei ist Γ die Anzahl der Verkehrsleitstellen.

$VB := \{ vb_1, \ldots, vb_\Delta \}$ sei die Menge der Bearbeitungs- und Bedienungsstationen. Hierbei ist Δ die Anzahl der Bearbeitungs- und Bedienungsstationen.

$VS := \{ vs_1, \ldots, vs_E \}$ sei die Menge der Warteschlangen. Hierbei ist E die Anzahl der Warteschlangen.

$MS := \{ ms_1, \ldots, ms_r \}$ sei die Menge aller Systemkomponenten. Diese läßt sich als Vereinigungsmenge folgendermaßen schreiben:

$MS := VW \cup VE \cup VL \cup VB \cup VS :=$

$\{ ve_1, \ldots, vw_1, \ldots, vl_1, \ldots, vb_1, \ldots, vs_1, \ldots \}$

Hierbei bedeutet r die Anzahl aller Systemkomponenten, also

$r = A + B + \Gamma + \Delta + E$

Zu der Menge MS aller Systemkomponenten gibt es eine Menge von Zuständen $\mathbf{Z}$, die diese Systemkomponenten annehmen können. $\mathbf{Z} := \{ z_1,\ldots,z_s\}$. Hierbei bedeutet s die Anzahl aller möglichen Zustände, in denen sich die Systemkomponenten im Zeitablauf eines Funktionsprozesses (Vorgangs) befinden können.

Um den Zustand eines Systems im Zeitpunkt t_i zu charakterisieren, benutzen wir den r-dimensionalen Vektorraum.
Sei $\vec{z}^{\,t_i} := (z_1^i,\ldots,z_r^i)$ der Zustandsvektor des Systems zur Zeit t_i, dann beschreiben die Komponenten $z_1^i,\ldots,z_r^i$ des Vektors $\vec{z}^{\,t_i}$ die Zustände der einzelnen Systemkomponenten $ms_1,\ldots,ms_r$.
Zum Zeitpunkt t_o gehört der Anfangszustand $\vec{z}^{\,t_o} = (z_1^o,\ldots,z_r^o)$.

4. Formale Darstellung des Verkehrsvorgangs und seines zeitlichen Ablaufs

Verkehrsvorgang

Nach der formalen Darstellung der Systemkomponenten des Verkehrssystems und ihrer Zustände gehen wir nun über zur formalen Darstellung des Funktionsprozesses des Verkehrssystems. Wir sprechen hier, wie gesagt, von Verkehrsvorgängen.

Ähnlich wie man in der Physik eine Bewegung durch Ursache, Objekt, Bahn und die Gesetze, denen sie gehorcht, bestimmen kann, ist auch ein Verkehrsvorgang VVG darstellbar.

$$VVG := \langle ve_\alpha,\ p,\ i,\ j,\ [t_i,\ t_j],\ (vw_\beta),\ (vl_\gamma),\ (vb_\delta),\ (vs_\varepsilon),\ (t_\varepsilon)\rangle$$

wobei $\alpha \in \{1,\ldots,A\}$, $\beta \in \{1,\ldots,B\}$, $\gamma \in \{1,\ldots,\Gamma\}$, $\delta \in \{1,\ldots,\Delta\}$, $\varepsilon \in \{1,\ldots,E\}$.

Diese formale Darstellung hat folgenden Inhalt. Eine Verkehrseinheit ve_α überwindet zum Zweck p den Raum zwischen einem Ausgangsort i und einem Zielort j im Zeitintervall $[t_i,\ t_j]$. (Hierbei bedeutet t_i die Abfahrtszeit in i und t_j die Ankunftszeit am Zielort j.) Beim Durchlaufen der Folge (vw_β) von Weg-

strecken wird eine Folge von Verkehrsleitstellen (vl_γ) sowie eine Folge von Bedienungsstationen (vb_δ) passiert, bei denen wegen eventuell entstehender Warteschlangen (vs_ε) die Wartezeiten (t_ε) erforderlich sind. Eine Wartezeit t_ε tritt nur bei vorhandener Warteschlange vs_ε auf.

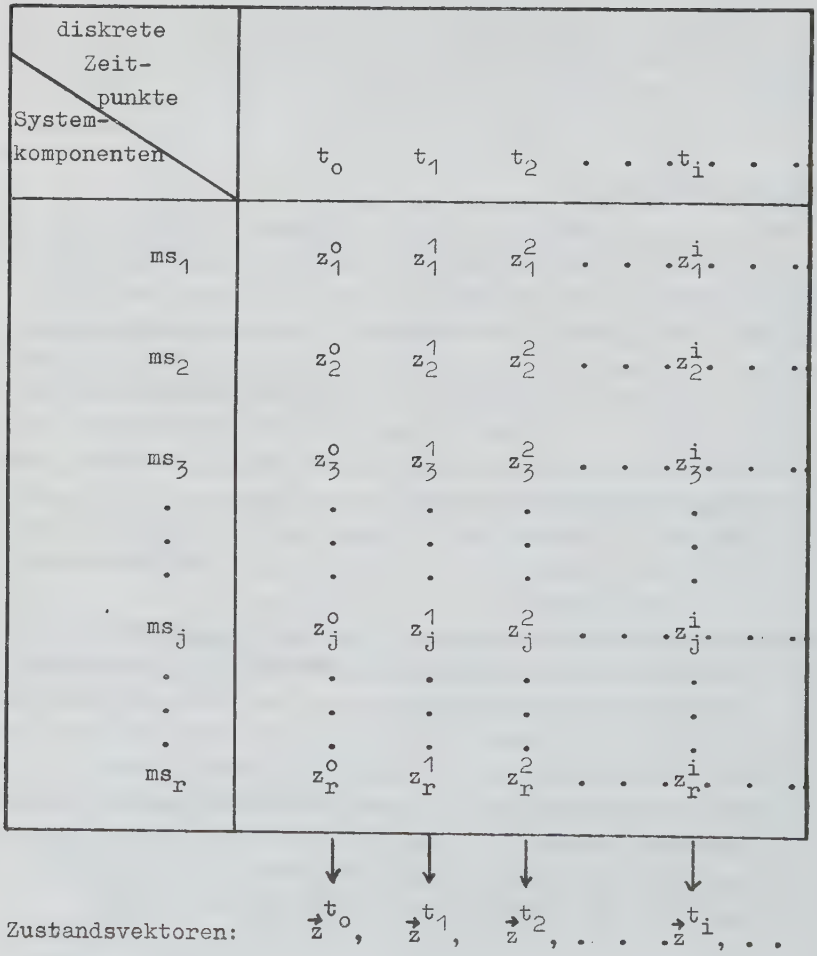
Der zeitliche Ablauf

Unter dem zeitlichen Ablauf eines Vorganges versteht man eine Folge von Zustandsänderungen, die sich in zeitlicher Reihenfolge ereignen. Eine Verkehrseinheit durchläuft auf ihrem Weg durch das Verkehrssystem eine Folge von Systemkomponenten. Dies bewirkt eine Anzahl von Zustandsänderungen bei den Systemkomponenten. Wenn wir die teilweise stetigen Bewegungsvorgänge in eine Anzahl von diskreten Zeitpunkten auflösen, können wir diese Tatsachen zu einer formalen Darstellung des Ablaufs eines Verkehrsvorganges benutzen. Diese formale Darstellung der diversen Zustandsänderungen der Systemkomponenten ermöglicht auch die Simulation[1)] des Verkehrsvorgangs auf einem Computer.

In der umseitigen Matrix kann der Ablauf eines Verkehrsvorgangs festgehalten werden. Die Elemente der Matrix z_j^i kennzeichnen den Zustand der Systemkomponente ms_j zum diskreten Zeitpunkt t_i. Aus den Zeilen der Matrix ist ersichtlich, wie oft jede der einzelnen Systemkomponenten $ms_1,\ldots,ms_r$ ihren Zustand während des Ablaufs eines Verkehrsvorgangs ändert und welche Zustände sie überhaupt annimmt. Die Spalten der Matrix sind die Zustandsvektoren. Sie ermöglichen Momentaufnahmen über die Zustände aller Systemkomponenten zu bestimmten diskreten Zeitpunkten.

---

1) Zur Simulation siehe S. 26


diskrete
Zeit-
punkte
System-
komponenten
t_o t_1 t_2 . . . t_i . . .
ms_1 z_1^o z_1^1 z_1^2 . . . z_1^i . . .
ms_2 z_2^o z_2^1 z_2^2 . . . z_2^i . . .
ms_3 z_3^o z_3^1 z_3^2 . . . z_3^i . . .
ms_j z_j^o z_j^1 z_j^2 . . . z_j^i . . .
ms_r z_r^o z_r^1 z_r^2 . . . z_r^i . . .
Zustandsvektoren:
$\vec{z}^{t_o}$, $\vec{z}^{t_1}$, $\vec{z}^{t_2}$, . . . $\vec{z}^{t_i}$, . . .

Zur besseren Beschreibung der Verkehrsvorgänge und zur Vertiefung der Problematik der Simulation wird im folgenden noch kurz auf die Warteschlangen- und Bedienungstheorie eingegangen.

5. Analysehilfsmittel

Bei der Betrachtung des Verkehrssystems in seinem Funktionsprozeß kommt der Analyse von Warteschlangen eine besondere Bedeutung zu. Deshalb sollen kurz einige Grundlagen zur Beschreibung von Warteschlangenprozessen erarbeitet werden.[1)]

Im wesentlichen können drei Elemente als Charakteristika einer Warteschlange angesehen werden:

- die Ankunft der zu bedienenden Elemente
- die Warteschlange selbst
- die Bedienung der Elemente.

Eine Bedienungsstation ist eine Einrichtung, deren Aufgabe darin besteht, eine gewisse Art von Forderungen zu erfüllen. Diese treffen im allgemeinen regellos ein. Es können jedoch auch Forderungen regelmäßig (z.B. zeitlich oder bezüglich der Intensität) auftreten. Die Zeiten für die Erfüllung der Forderungen variieren ebenfalls sehr stark. Warteschlangen entstehen dann, wenn die Anzahl der in einem Zeitintervall bei der Bedienungsstation ankommenden Forderungen vorübergehend oder ständig größer ist als die An-

---

1) Siehe dazu: Takacs, L., Introduction to the Theory of Queues, Oxford 1962

Saaty, T.L., Elements of Queuing Theory, New York 1961

Wedekind, H., a.a.O., S. 265 - 273
Das Literaturverzeichnis zum V. Kapitel dieses Werkes enthält die zu diesem Problembereich relevanten Literaturangaben.

zahl der Forderungen, die im gleichen Zeitintervall erledigt werden können.

Die folgenden Größen sind wichtig:

- die Zwischenankunftszeit t_a und ihre statistische Verteilung $\varphi(t_a)$. (Die Zwischenankunftszeit gibt die Länge des Zeitintervalls an, das zwischen der Ankunft eines Elementes und der Ankunft des folgenden Elementes liegt.)
- die mittlere Zwischenankunftszeit $\bar{t}_a$
- die mittlere Ankunftsrate $\lambda = \frac{1}{\bar{t}_a}$
- die Wartezeit t_w einer Forderung
- die Bedienungszeit t_b und ihre statistische Verteilung $\varphi(t_b)$
- die mittlere Bedienungszeit $\bar{t}_b$
- die mittlere Bedienungsrate $\mu = \frac{1}{\bar{t}_b}$
- die Verkehrsdichte $\varrho = \frac{\lambda}{\mu}$

Eine Warteschlange im Sinne der Warteschlangentheorie entsteht dann, wenn mindestens eine der charakteristischen Größen (z.B. t_a oder t_b) eine Zufallsgröße ist. Es ist nur sinnvoll, Wartesysteme zu betrachten, wenn $\varrho = \frac{\lambda}{\mu} < 1$, d.h. die mittlere Ankunftsrate ist kleiner als die mögliche Bedienungsrate. Wenn dies nicht der Fall ist, wird die Warteschlange im Laufe der Zeit beliebig groß.

Hat ein System mehrere Bedienungsstationen, so muß unterschieden werden, welche parallel (gleichwertig nebeneinander) oder andersartig angeordnet sind. Die Anzahl der wartenden Elemente kann unbegrenzt oder begrenzt sein. Eine Begrenzung ergibt sich, wenn der Warteraum nur eine beschränkte Menge von Elementen aufnehmen kann. Hat die Warteschlange eine gewisse Länge erreicht, oder wird eine bestimmte Wartezeit überschrit-

ten, verlassen die betroffenen Elemente den Warteraum, bevor sie bedient werden.

Die Bedienungssysteme können folgendermaßen unterschieden werden[1]:

- Wartesysteme, die Warteschlangen mit im allgemeinen begrenzter Länge bilden,
- Verlustsysteme, bei denen nichterfüllbare Forderungen verlorengehen,
- gemischte Systeme.

Wartende Elemente können nach folgenden Prinzipien zur Bedienung aus der Warteschlange ausgewählt werden:

- first in, first out (first come, first serve)
- last in, first out (last come, first serve)
- zufällige Auswahl
- Auswahl nach festgelegten Prioritätsregeln
  (In der Datenverarbeitung bewirken solche Prioritätsregeln (preemptive priorities) auch oft eine Unterbrechung in der laufenden Bedienung, wenn eine Forderung mit höherer Priorität eintrifft.)

Eines von vielen Kriterien für die Optimalität eines Bedienungsprozesses ist die Minimierung der Summe der Warteverluste. Dies wäre auch ein mögliches Kriterium für die Optimierung des Verkehrssystems.

Mit Hilfe der Warteschlangentheorie lassen sich viele Systeme beschreiben. Eine analytische Behandlung der Warteschlangen mit mathematischen Hilfsmitteln ist jedoch nur bei ganz einfachen Systemen möglich. Systeme von größerer Komplexität

---

1) Vgl. Richter, K.J., Verkehrsökonometrie II, Berlin 1972, S. 242

versucht man in Simulationsmodellen zu erfassen, aber solche Simulationsversuche scheitern häufig deshalb, weil die zur Simulation benötigten Daten fehlen.

Unter Simulation versteht man die Nachbildung eines realen Systems in wesentlichen Eigenschaften und im zeitlichen Ablauf durch ein Modell. Die Simulation in den Problembereichen, die für die Investitionsplanung relevant sind, wird auf Computern durchgeführt. Der Aufbau und die Durchführung von Computersimulationen erfordern die folgenden wesentlichen Arbeitsschritte:

- Auswahl wesentlicher Zustandsgrößen und ihre Aufteilung in Eingabegrößen und Ergebnisgrößen des Simulationsverfahrens
- Erfassung der Abhängigkeiten der Systemkomponenten und ihre mathematische Formulierung nach Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den Zustandsgrößen
- Erstellung eines Computerprogramms (Eingabe, Verarbeitung, Ausgabe)
- Erfassung und Eingabe des Anfangszustandes
- Aktivieren des Simulationsverfahrens und eventuell zusätzliche Eingabe
- Auswerten der Simulationsergebnisse.

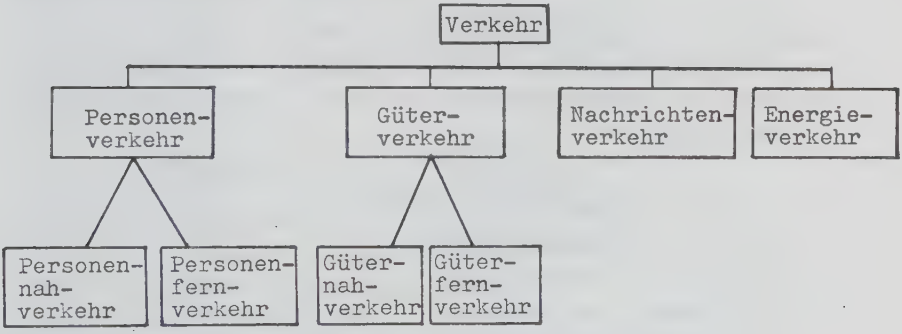
Je nach Zweck der Simulation können die drei letzten Schritte beliebig oft wiederholt werden.

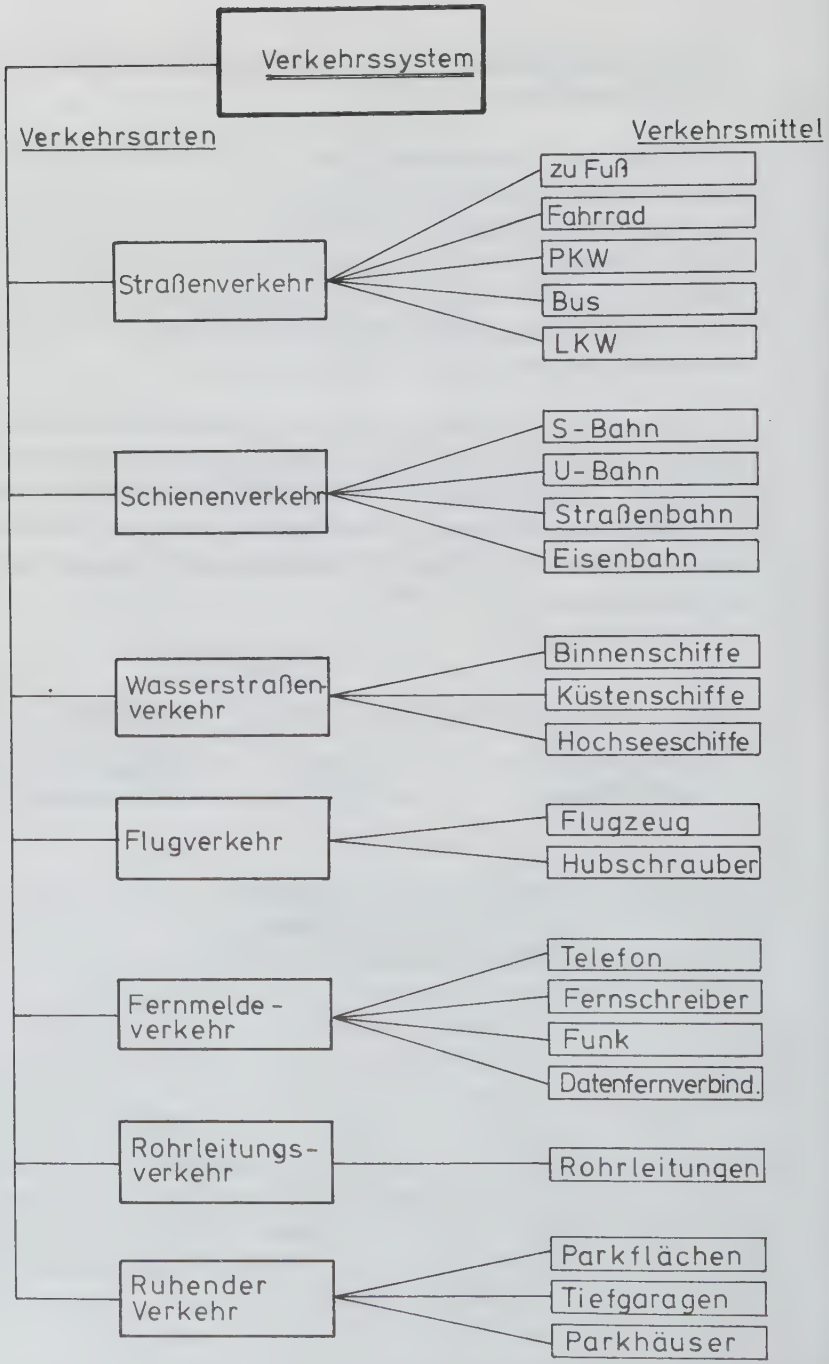
Wenn auch die Eingabegrößen, ehe sie zum gewünschten Resultat führen, oft lange logische Ketten durchlaufen und von vielen Zwischengrößen beeinflußt werden, ist das Schema einer Computersimulation im Prinzip immer das gleiche. Es werden die Zustände gemäß den mathematisch formulierten Abhängigkeiten aus den Zuständen zu früheren Zeitpunkten (oder zum gleichen Zeitpunkt) errechnet. Der Simulationsablauf ist demnach durch den Anfangszustand und die mathematischen Abhängigkeiten determiniert.

6. Die Funktionen als zweite Beschreibungskategorie für das Verkehrssystem

Die in den vorausgegangenen Abschnitten dargelegte Übersichtsbeschreibung des Verkehrssystems in seiner Gesamtheit ist für unsere Untersuchung im Hinblick auf eine optimale Investitionsplanung zu allgemein. Zu einer Beschreibung des Verkehrssystems gehört mehr als eine Aufzählung der Elemente, ihrer Beziehungen, ihrer Zustände und ihres Verhaltens im zeitlichen Ablauf.

Das Verkehrssystem hat die Funktion, Ortsveränderungen von Personen, Gütern, Energie und Informationen zu ermöglichen. Die aufgabenorientierte Betrachtungsweise gestattet eine Beschreibung des Verkehrssystems unter funktionalen Aspekten und ermöglicht die folgenden Zerlegungen des Gesamtsystems in funktionale Teilsysteme.




Verkehrssystem
Verkehrsarten
Verkehrsmittel
Straßenverkehr
zu Fuß
Fahrrad
PKW
Bus
LKW
Schienenverkehr
S-Bahn
U-Bahn
Straßenbahn
Eisenbahn
Wasserstraßen-verkehr
Binnenschiffe
Küstenschiffe
Hochseeschiffe
Flugverkehr
Flugzeug
Hubschrauber
Fernmelde-verkehr
Telefon
Fernschreiber
Funk
Datenfernverbind.
Rohrleitungs-verkehr
Rohrleitungen
Ruhender Verkehr
Parkflächen
Tiefgaragen
Parkhäuser

Die erste Abbildung zeigt eine Zerlegung des Verkehrs in Verkehrsarten bezogen auf die zu transportierenden Güter.

Die zweite Abbildung zeigt eine Aufspaltung des Verkehrssystems nach Verkehrsarten bezogen auf Verkehrswege und Verkehrsmittel.

7. Das Verkehrssystem aus der Sicht der unterschiedlichen Betrachter

Das Verkehrssystem ist, wie wir eben sahen, schon wegen seiner außerordentlich großen Zahl von Elementen, wegen der großen Zahl der Zustände, die diese Elemente annehmen können, und wegen der vielfältigen Aufgaben, die gelöst werden müssen, ein recht kompliziertes System. Eine Entscheidungsfindung bei der Investitionsplanung in der Verkehrspolitik ist jedoch nicht nur wegen der Kompliziertheit des Verkehrssystems an sich so schwierig. Projiziert man die Funktionsweise des Verkehrssystems auf die verschiedensten Betrachter (Betroffenen), so wird dies deutlich. Man kann beim Verkehrssystem die folgenden Betrachtergruppen unterscheiden, die sehr unterschiedliche Aspekte in den Planungsprozeß hineintragen:

Verkehrsleistungsanbieter:
- Bundesbahn
- Bundespost
- Lufthansa
- Reedereien
- öffentliche Verkehrsbetriebe der Städte / Gemeinden
- Speditionsunternehmen

Hersteller von Systemkomponenten / Verkehrsmitteln:
- Automobilindustrie
- Maschinenbauindustrie
- Bauindustrie
- Werften

Planungs-, Regel-, Kontroll-institutionen:	- Bund - Länder - Gemeinden - private Unternehmen
Verkehrssystembenutzer, Nutznießer:	Jeder Mensch (vertreten durch Interessengemeinschaften, Verbände)
Verkehrssystemgeschädigte:	- Lärm- und Abgasgeschädigte - Bodengeschädigte - Unfallgeschädigte

Diese sicherlich nicht vollständige Aufstellung möglicher Betrachter des Verkehrssystems macht deutlich, wie unterschiedlich auch Investitionsentscheidungen gesehen werden können. Darauf muß bei der Verkehrsinvestitionsplanung unbedingt geachtet werden.

8. Zum Problem der Erstellung eines mathematischen Gesamtmodells für das Verkehrssystem

Ein mathematisches Gesamtmodell für das Verkehrssystem wäre die Menge der Relationen (Gleichungen, Ungleichungen, Funktionen, Operatoren), die die Zustände des Systems in Abhängigkeit von den Systemparametern, den Anfangsbedingungen und der Zeit bestimmen. Dazu müßten bereitgestellt werden[1]:

- Konstanten zur Beschreibung konstanter Eigenschaften der Systemelemente
- Variablen zur Beschreibung der sich während eines Verkehrsvorgangs ändernden Zustände der Systemkomponenten
- Funktionen zur Kennzeichnung der Abhängigkeiten

---

1) Vgl. Niemeyer, G., a.a.O., S. 18 f.

- Algorithmen zur Darstellung der variablen Zustände der Systemkomponenten in Abhängigkeit von den verschiedenen Einflüssen der Umwelt und den anderen Systemkomponenten

Es ist kaum möglich, ein mathematisches Gesamtmodell für das Verkehrssystem in Form expliziter Funktionen oder Gleichungen zu konstruieren, denn die mathematische Formulierung der Beziehungen (zeitliche, örtliche, logische) zwischen den Zuständen und Funktionen des Verkehrssystems ist nicht durchführbar.

9. Die Bedeutung der Systembeschreibung und ihre Verwendungsmöglichkeit bei der Investitionsplanung

Die in den vorausgegangenen Abschnitten erarbeitete Beschreibung des Verkehrssystems gibt Auskunft über

- die Struktur des Verkehrssystems
- das Zusammenwirken der Systemkomponenten
- die Funktionen des Verkehrssystems
- die Beziehungen des Menschen zum Verkehrssystem
- den Umgang des Menschen mit dem Verkehrssystem

und ermöglicht

- eine Erfassung des Verkehrssystems (Ist-Aufnahme)
- eine Strukturierung in Teilsysteme (nach Verkehrsmitteln)
- eine Betrachtung von Einzelvorgängen (Verkehrsvorgang)
- eine Beschreibung des Verkehrssystems in seinem zeitlichen Ablauf (Verkehrsvorgang)
- eine Abgrenzung des Verkehrssystems von seiner Umwelt.

Es wurde deutlich, wie schwierig die Handhabung des Verkehrssystems als Gesamtsystem ist.

Im direkten Zusammenhang mit der Modellbildung ist die Simulation zu sehen. Durch die vorausgegangene Beschreibung wird eine Darstellung des Verkehrssystems auf einem Computer möglich. Mit Hilfe der Simulation können verschiedene Situationen in abstrakter Form durchgespielt werden. Durch solch ziel-

gerichtetes Experimentieren am Modell können z.B. Investitionsalternativen auf ihre voraussichtlichen Folgen hin überprüft werden, ohne daß dabei zunächst das Risiko einer endgültigen Realisierung eingegangen wird. So kann beispielsweise am Simulationsmodell untersucht werden, wie sich die Verkehrsströme im Autobahnnetz nach dem Bau einer neuen Autobahn umverlagern werden. Damit können Fehlplanungen oft rechtzeitig vermieden werden, ohne daß knappe Ressourcen verbraucht werden. Die Simulationsergebnisse sind allerdings nur in Bezug auf das zugehörige Modell gesichert. Die Güte der Simulationsergebnisse hängt ab von der Güte des zu Grunde liegenden Modells. Deshalb muß zusammen mit den Simulationsergebnissen immer wieder das Problem der Modelltreue gesehen werden.

Die erarbeitete Systembeschreibung ist die Grundlage für eine systematische Untersuchung des Verkehrssystems und kann sowohl bei mikroökonomischen als auch bei makroökonomischen Betrachtungen verwendet werden. Die zu Grunde zu legende Aggregationsstufe ist variabel und abhängig von dem jeweils zu betrachtenden Problem. So wird z.B. bei der Untersuchung regionaler Investitionsalternativen eine andere Aggregationsstufe zu Grunde gelegt, als dies bei überregional bedeutsamen Verkehrsinvestitionsentscheidungen der Fall ist.

Die dargelegte Beschreibung der Verkehrsvorgänge eignet sich für Einzelbetrachtungen. Dabei erhält man Auskunft über die Anforderungen an die an einem Verkehrsvorgang beteiligten Systemkomponenten und ihre möglichen Zustände. Sie gestatten eine Betrachtung der Auswirkungen von Investitionsalternativen auf einzelne Verkehrsvorgänge und eignen sich für einen Soll-Ist-Vergleich. Die Betrachtung verschiedener Verkehrsvorgänge zeigt die verschiedenen Anforderungen an die Systemkomponenten und deren Zustände auf. Somit trägt die gewählte Beschreibung des Verkehrsvorgangs wesentlich bei zur Klassifizierung der Anforderungen an das Verkehrssystem und zur Auslegung des Systems gemäß diesen Anforderungen.

Die Zustandsmatrix eignet sich besonders für eine Istaufnahme. Sie gestattet Verkehrsmengenbetrachtungen im Systemzusammenhang unter Berücksichtigung der Zeit (Kapazitätsbetrachtungen, Engpässe, Schwachstellen) und zeigt Auswirkungen von Veränderungen im System (Ausfall oder Hinzufügen neuer Systemkomponenten). Damit zeigt die Zustandsmatrix an, wo Optimierungen bzw. Rationalisierungen notwendig oder möglich sind.

III. Der Prozeß der Investitionsplanung und die speziellen Planungsverfahren

Die vorausgegangene Beschreibung und Analyse des Verkehrssystems war notwendig, um eine Ausgangsbasis für die Erweiterung und Optimierung des bestehenden Systems durchführen zu können.

Das Verkehrssystem ist zur Leistung an seine Umwelt verpflichtet. Es ist notwendig, durch Investitionen diese Leistungserbringung zu ermöglichen, die Leistungsfähigkeit zu erhalten und das System möglichst optimal in die Umwelt einzubetten. Deshalb soll nach der Beschreibung des Verkehrssystems nun das Problem der Investitionsplanung betrachtet werden. Ferner sollen die Verfahren untersucht werden, die zur Zeit als Hilfsmittel für die Investitionsplanung in der Verkehrspolitik zur Verfügung stehen. Durch die Beschreibung des Verkehrssystems dürfte deutlich geworden sein, daß ein solch komplexes System erhebliche Anforderungen an die Planungsmethoden stellt. Die Untersuchung der einzelnen Methoden soll Gründe aufzeigen, warum die alleinige Anwendung der jeweiligen Methode für eine optimale Investitionsplanung nicht ausreicht.

1. Klärung von Begriffen

Zur Begriffserklärung sollen hier zunächst die verschiedenen Investitionsbegriffe aufgeführt werden. Sie können nach Priewasser[1] folgendermaßen unterschieden werden.

- Der vermögensbestimmte Investitionsbegriff

  Hierbei bedeutet Investition die "...Transformierung von Geldkapital in Realkapital (Vermögen)."[2]

---

1) Siehe dazu: Priewasser, E., Betriebliche Investitionsentscheidungen, Berlin-New York 1972, S. 11 ff.

2) Ebenda, S. 11

- Der zahlungsbestimmte Investitionsbegriff

  Zur Charakterisierung einer solchen Investition ist es erforderlich, daß sämtliche Ausgaben- und Einnahmereihen angegeben werden. (Der am Beginn des Investitionsprozesses liegenden Geldausgabe stehen Geldeinnahmen gegenüber, die aus Einzahlungsüberschüssen bzw. Liquidationserlösen während der gesamten Nutzungsdauer entstehen.)[1)]

- Der kombinationsbestimmte Investitionsbegriff

  Hierunter versteht man, daß Güter, die bisher Güter des freien Kapitals waren oder aus ihrem bisherigen Verbande herausgerissen wurden, zu einer neuen Wirtschaftseinheit vereinigt werden.[2)]

- Der disponibilitätsbestimmte Investitionsbegriff

  Das langfristige Festlegen von finanziellen Mitteln in Anlagevermögen und eine daraus resultierende Unelastizität in der Anpassung an eine neue Situation wird hierbei besonders betrachtet.[3)]

Verkehrsinvestition

Zur Charakterisierung der Verkehrsinvestitionen erscheint ein Investitionsbegriff geeignet, der aus dem vermögens- und disponibilitätsbestimmten Investitionsbegriff abgeleitet wird. Wir verstehen unter einer Verkehrsinvestition einen Vorgang, bei dem eine Allokation von Vermögen vorgenommen wird, die über einen bestimmten Zeitraum der Erstellung von Verkehrsleistungen dient. In Unterscheidung zum Begriff der Finanzierung (Kapitalbeschaffung, Bereitstellung finanzieller Mittel) bedeutet Investition Kapitalverwendung. Die Investition folgt also auf den Akt der Finanzierung. Eine Investition

---

1) Priewasser, E., a.a.O., S. 13 f.
2) Ebenda, S. 14 f.
3) Ebenda, S. 15 f.

kann als realisiert angesehen werden, wenn die investierten Werte zur Herstellung (Produktion) von Verkehrsleistungen bereitstehen. Unserem Verständnis der Verkehrsinvestition liegt also der in der betriebswirtschaftlichen Literatur[1] entwickelte Investitionsbegriff zu Grunde, der aber dahingehend erweitert werden muß, daß auch gesamtgesellschaftliche Aspekte berücksichtigt werden können.

Verkehrsinvestitionen[2] sind öffentliche Sozialinvestitionen, da sie aus öffentlichen Mitteln finanziert und auf Grund staatlicher Entscheidungen getätigt werden. Im Verkehrswesen handelt es sich im wesentlichen um Infrastrukturinvestitionen. Die Erfassung der durch Verkehrsinvestitionen bewirkten Veränderung kann vollständig nur im Zusammenhang mit der gesamten Volkswirtschaft gelingen. Die Schwierigkeit liegt bei einer vollständigen Erfassung, Messung und Bewertung der Zahlungsströme im Hinblick auf ihre gesamtgesellschaftlichen Wirkungen. Zur Bestimmung gesamtwirtschaftlicher Veränderungen existieren im wesentlichen drei Bewertungskriterien:

- das Sozialproduktskriterium
- das effizienztheoretische Kriterium
- das wohlfahrtstheoretische Kriterium

Mit diesen Kriterien kann der Zuwachs an Volkseinkommen bzw. die Veränderung der ökonomischen Wohlfahrt gemessen werden, wobei das effizienztheoretische Kriterium für gesamtwirtschaftliche Zielvorstellungen am besten geeignet ist.[3]

Die Verkehrsinvestitionen haben drei ökonomische Charakteristika, die allen Sozialinvestitionen anlasten:

- Auslastungseffekte
- Outputunteilbarkeiten
- externe Effekte

---

1) Zur Unterscheidung des betriebswirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Investitionsbegriffes siehe: Pack, L., Betriebliche Investition, Wiesbaden 1959, S. 80 ff.

2) Siehe dazu: Fest, H.E., Zur gesamtwirtschaftlichen Konsistenz des Entscheidungskriteriums für die Auswahl öffentlicher Investitionen, Berlin 1971, S. 50 ff.

3) Ebenda, S. 137 ff. und S. 187 ff.

Diese stehen der Anwendungsmöglichkeit des Modells der vollkommenen Konkurrenz entgegen, da sie nicht die Voraussetzungen und Annahmen für eine Anwendung erfüllen. Wir werden im folgenden noch klären, daß das Referenzmodell für die Kosten-Nutzen-Analyse ebenfalls das Modell der vollkommenen Konkurrenz ist und daß folglich auch ihrer Anwendung deutliche Grenzen gesetzt sind. Damit steht fest, daß die Verwendung bekannter Bewertungsregeln für die Feststellung der durch Verkehrsinvestitionen bewirkten Veränderungen kaum möglich ist.

Von den in der Literatur vielfältig vorhandenen Klassifizierungen von Investitionen soll noch die folgende herausgegriffen werden, die für die in dieser Untersuchung betrachteten Verkehrsinvestitionen ebenfalls nützlich erscheint[1]:

- Erstinvestitionen
- Ersatz- (bzw. Rationalisierungs-) investitionen
- Erweiterungsinvestitionen
- Investitionen, die Kombinationen aus den oben genannten Arten sind.

Die Unterschiede zwischen Erstinvestitionen, Ersatzinvestitionen und Erweiterungsinvestitionen gehen aus den Begriffen klar hervor.[2]

2. Die klassischen Verfahren der Investitionsrechnung und die Grenzen ihrer Anwendung in der Verkehrspolitik

Unter dem Begriff der Investitionrechnung sind Verfahren zur Beurteilung investitionspolitischer Maßnahmen zusammengefaßt. Die Investitionsrechnungen können in zwei Klassen eingeteilt werden[3]:

- Statische Verfahren
- Dynamische Verfahren

---

1) Siehe dazu: Pack, L., a.a.O.,

2) Eine genauere Beschreibung findet man bei Priewasser, E., a.a.O., S. 18 ff.

3) Siehe dazu: Blohm, H., Lüder, K., Investition, 3. Aufl., München 1974, S. 45

Die dynamischen Verfahren unterscheiden sich von den statischen Verfahren dadurch, daß Ausgaben und Einnahmen zusätzlich nach ihrem zeitlichen Anfall berechnet werden, d.h. es wird diskontiert. Es läßt sich nicht allgemeingültig feststellen, welches Verfahren für einen Problembereich das geeignete ist. Die Verfahren sollen im folgenden erörtert werden.

Statische Verfahren

- Kostenvergleichsrechnung

  Die Kostenvergleichsrechnung eignet sich für den Vergleich mehrerer Investitionsalternativen und wird in der Hauptsache zur Beurteilung von Ersatz- und Rationalisierungsinvestitionen verwendet. Dies geschieht vor allem dann, wenn es schwierig oder sogar unmöglich ist, den Investitionsalternativen bestimmte Erträge zuzuordnen.

- Amortisationsrechnung

  Eine andere Bezeichnung für die o.a. Rechnungsart lautet Kapitalrückflußrechnung. Mit ihrer Hilfe kann das Zeitintervall ermittelt werden, in dem das verwendete Kapital bei einer Investition wiedergewonnen wird. Die Amortisationszeit wird zur Abschätzung des Risikos ermittelt, denn man geht davon aus, daß mit zunehmender Amortisationszeit das Risiko einer Investition wächst. Die Zeit nach Ablauf der Amortisationszeit und somit die Gewinnentwicklung und Rentabilität werden nicht betrachtet.

- Rentabilitätsrechnung

  Dieses Verfahren ermittelt das Verhältnis des durchschnittlichen Jahresertrages (-gewinns) zum Kapitaleinsatz. Die Anwendung ist nur möglich, wenn eine Zurechnung des Gewinns zu der entsprechenden Investition möglich ist. Wichtig beim Vergleich von Investitionsalternativen ist, daß für alle verglichenen Alternativen die Begriffe Ertrag, Gewinn und Kapitaleinsatz mit der gleichen Bedeutung verwendet werden.

Die statischen Verfahren finden in der Betriebs- und Volkswirtschaft deshalb Anwendung, weil es nicht immer möglich ist, Schätzungen für die Einnahmen und Ausgaben eines Investitionsprojektes anzugeben bzw. die Einnahmen und Ausgaben einem bestimmten Projekt zuzurechnen. Oft ist es auch unwirtschaftlich, die aufwendigeren und vom Standpunkt der theoretischen Exaktheit aus überlegeneren dynamischen Verfahren anzuwenden.

Dynamische Verfahren[1)]

- Kapitalwertmethode

  Bei dieser Methode ist die Höhe des Kapitalwertes einer Investition das Entscheidungskriterium, denn der Kapitalwert ist auch ein Maß für die Verzinsung der Investition. Die Ermittlung des Kapitalwertes erfolgt auf Grund einfacher Rechenverfahren.

- Methode des internen Zinssatzes

  Mit dieser Methode ermittelt man den Zinsfuß, zu dem sich das investierte Kapital bei einem Investitionsobjekt während der Nutzungsdauer verzinst.

Die Anwendung der beiden Methoden kann unter den folgenden gleichen Voraussetzungen erfolgen. Der Vergleich von Investitionsalternativen ist nur möglich, wenn diese bezüglich Kapitaleinsatz und Lebensdauer gleich sind, d.h. wenn diese Gleichheit nicht gegeben ist, muß sie hergestellt werden. Alle Einnahmen und Ausgaben (Erträge/Aufwendungen) müssen in ihrer Höhe und in ihrem zeitlichen Anfallen bekannt und speziell für das zu prüfende Investitionsobjekt feststellbar sein. Ferner muß es möglich sein, bis zum Ende der Lebensdauer bzw. des in der Rechnung betrachteten Zeitraumes die Einnahmen bzw.

---

1) Siehe dazu: Schneider, E., Wirtschaftlichkeitsrechnung, Tübingen 1951, S. 26

Jacob, H., Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der Linearprogrammierung, Wiesbaden 1971

Priewasser, E., a.a.O., S. 21 ff.

Blohm, H., Lüder, K., a.a.O., S. 61 ff.

Ausgaben der zu prüfenden Investitionsvorhaben zu schätzen. Der Vergleich von Alternativen ist besonders schwierig bei unterschiedlicher Höhe des Kapitaleinsatzes sowie bei unterschiedlicher Lebensdauer der Alternativen. Deshalb eignen sich die beiden Methoden vor allem zur Beurteilung von Erweiterungsinvestitionen.

Die genannten klassischen Methoden der Investitionsrechnung versagen bei einer Anwendung in der Verkehrspolitik völlig, weil die für ihre Verwendung notwendigen Ansatzpunkte meistens nicht vorhanden sind. Man kann nur unter gewissen wirklichkeitsfremden Voraussetzungen ein Investitionsbudget mit ihrer Hilfe aufstellen. Eine große Einschränkung liegt darin begründet, daß für die Anwendung der klassischen Methoden der Investitionsrechnung den zu betrachtenden Investitionsobjekten eine Auszahlungs- und Einzahlungsreihe zugeordnet werden muß, was bei Verkehrsinvestitionen bisher vor allem für die Einzahlungsreihe nicht möglich ist. Es gibt keine Möglichkeit, solche Investitionen zu beurteilen, die z.B. gleichzeitig Ersatz- und Erweiterungsinvestitionen sind, was aber im Verkehrswesen ebenso oft der Fall ist wie die Notwendigkeit der Berücksichtigung finanzieller oder sonstiger Nebenbedingungen.

3. Der derzeitige Planungsprozeß

Die derzeitige Planung läuft im wesentlichen in folgenden Schritten ab[1]:

- Aufteilung des Gebietes der Bundesrepublik in Planungsräume
- Ermittlung der Strukturdaten des Planungsraumes
- Analyse und Prognose der Strukturdaten des Planungsraumes
- Diagnose und Prognose der Verkehrsbedürfnisse für den betrachteten Planungsraum
- Feststellung von Quellen und Senken zur Ermittlung und Lokalisierung des Verkehrsaufkommens

---

1) Siehe dazu: Mäcke, P.A., Verkehrstechnische und verkehrsplanerische Untersuchungen des Bundesfernstraßennetzes, Aachen 1970, in: Ausbauplan für die Bundesfernstraßen 1971-198 Band A, Bonn 1971

- Die räumliche und zeitliche Aufteilung der Verkehrsströme durch Verteilungsmodelle
- Die Aufteilung des Verkehrsaufkommens auf die verschiedenen Verkehrsmittel
- Die Aufteilung des Verkehrsaufkommens auf die verschiedenen Verkehrswege
- Auswahl geeigneter Investitionsobjekte an Hand von Kosten-Nutzen-Untersuchungen
- Investitionsentscheidung

Die Schritte des derzeitigen Planungsprozesses weisen folgende Schwächen auf:

Die Aufteilung in Planungsräume muß so gewählt werden, daß es auch möglich ist, für diese Planungsräume geeignete Strukturdaten zu ermitteln. Politische Grenzen sind für eine solche Aufteilung oft wenig geeignet, da sie mehr oder weniger zufällig entstanden sind. Auch sind manche Kriterien, die zur derzeitigen Aufteilung geführt haben, heute nicht mehr gültig. Die vorhandenen statistischen Zahlenreihen wurden aber gerade für diese politischen Einheiten ermittelt. Um jedoch realistische Planungsräume der Investitionsplanung zu Grunde zu legen, die eine sinnvolle Betrachtung der tatsächlichen Verkehrsbeziehungen auch über politische Grenzen hinaus ermöglichen, müssen solche Planungsgebiete erarbeitet werden, die den natürlichen, regionalen Verflechtungen entsprechen. Die Statistik für die Vergangenheit muß für diesen neuen Planungsraum durch Umrechnung ermittelt werden. Die Möglichkeit von Fehlern ist an dieser Stelle sehr groß. Ein größeres Problem liegt allerdings noch darin, diese durch Umrechnung entstandenen Zeitreihen den Prognosen zu Grunde zu legen. Wenn man auch versucht, durch kommunale Neugliederung den obigen Gesichtspunkten gerecht zu werden, so werden die Probleme sich doch noch längere Zeit auswirken.

Eine weitere Möglichkeit für schwerwiegende Fehler besteht bei der Auswahl der Strukturdaten, denn hier muß es gelingen, genau die Daten der Wirtschafts- und Siedlungsstruktur auszu-

wählen, die tatsächlich für die Erzeugung des Verkehrsaufkommens im Planungsraum repräsentativ sind. Ebenso problematisch ist die Ermittlung der Zusammenhänge zwischen dem Verkehrsaufkommen und der auf Grund von Wahlentscheidungen der Menschen entstehenden Aufteilung auf die verschiedenen Verkehrsmittel und Verkehrswege im Zeitablauf. Für eine Analyse eignet sich die unter II.4. erarbeitete formale Darstellung des Verkehrsvorganges.

Das Verkehrsaufkommen (die Summe aller Verkehrsbedürfnisse), das einen Planungsraum verläßt oder den betrachteten Planungsraum als Zielverkehr erreicht, verteilt sich im Raum.Diese räumliche Verteilung des Verkehrsaufkommens wird durch Verteilungsmodelle beschrieben. Es gibt in der Literatur eine große Zahl von Verteilungsmodellen, die jedoch auf eine kleine Zahl von Grundmodellen zurückgeführt werden können.[1] Diese Grundtypen sind

- Zuwachsfaktormethoden
- Opportunity - Modelle
- Gravitationsmodelle.

Die Verteilungsmodelle entstanden auf der Basis der Überlegung, daß das Verkehrsbedürfnis mit der verkehrserzeugenden Ausstrahlungskraft und der verkehrserzeugenden Anziehungskraft des Planungsraumes wächst. Mit zunehmendem Aufwand, um von der Quelle zum Ziel zu gelangen, nimmt das Verkehrsbedürfnis ab. In der Praxis haben die Gravitationsmodelle die größte Bedeutung.

Der allgemeine Ansatz für die Gravitationsmodelle geht davon aus, daß der Verkehrsbedarf zwischen Quelle und Ziel proportional zu besonderen Merkmalen des Planungsraumes der Quelle und des Planungsraumes des Zieles ist. Der Verkehrsbedarf ist umgekehrt proportional zu einer Funktion des Widerstandes zwischen Ziel und Quelle.

---

1) Siehe dazu: Beyerle, G., Ein Beitrag zur Anwendung der Verteilungsmodelle für den innerstädtischen Individualverkehr, Diss. TH Aachen, 1973

Die benutzten Daten für diese Modelle sind meist nicht eindeutig bestimmbar, da sie abhängig sind vom menschlichen Verhalten. Bei manchen Modellrechnungen werden nicht einmal direkte Verkehrsdaten verwendet, sondern diese werden erst auf dem Umweg über Strukturdaten des Planungsraumes ermittelt. Die Verwendung reiner Strukturdaten führt im Hinblick auf Zuverlässigkeit und Fehleranfälligkeit zu erheblich schlechteren Ergebnissen als die Verteilungsmodelle, die das Verkehrsaufkommen direkt benutzen.

Der Widerstand wird bisher fast ausschließlich als Funktion der Entfernung zwischen Quelle und Ziel angesehen. Das ist sicherlich nicht ausreichend und möglicherweise in bestimmten Fällen auch falsch. Die Zuverlässigkeit der Modellaussagen kann wesentlich erhöht werden, wenn die Widerstandsfunktion alle wesentlichen Widerstandkomponenten enthält. Deshalb muß vorher diese Widerstandsfunktion weiter entwickelt werden, um hier mittels der Verteilungsmodelle zu besseren Aussagen zu kommen.

Der nächste Schritt ist die Auswahl geeigneter Investitionsobjekte an Hand von Kosten-Nutzen-Untersuchungen. Grundlage für die Bewertung des Nutzens von Investitionen sind derzeit in der Bundesverkehrswegeplanung die folgenden Ziele[1]:

- Sicherstellen eines wirtschaftlichen Verkehrsablaufs
- Berücksichtigung der Belange der Raumordnung und der regionalen Wirtschaftspolitik
- Verringerung der Umweltbelastung
- Verbesserung der internationalen Verkehrsbeziehungen
- Hebung der Verkehrssicherheit

Diese Ziele werden auf Grund zielgerechter Indikatoren, für die Daten vorhanden sind, quantifiziert. Die Bewertung der alternativen Investitionsmaßnahmen erfolgt derart, daß die durch die Realisierung der Investition erwarteten Nutzen an

---

1) Siehe dazu: Der Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßenbau, Bewertung der Maßnahmen und deren Dringlichkeit, Stand Mai 1975, S. 1 ff.

Hand der Indikatoren ermittelt werden. Die ermittelten Nutzen werden dann noch mit Gewichtungen versehen. Die Vielzahl der Investitionsalternativen und die Vielfalt der relevanten Daten, die in den Bewertungsprozeß mit einbezogen werden müßten, erlauben bisher nur die Verwendung grober und vereinfachter Methoden. Das Bewertungsverfahren wird im wesentlichen manuell durchgeführt. Danach werden die ermittelten Nutzen den Kosten gegenübergestellt. Durch diese Vorgehensweise wird sichergestellt, daß von den Maßnahmen mit den gleichen Kosten diejenigen zuerst realisiert werden, für die der erwartete Nutzen am größten ist. Hierbei haben die Investitionsalternativen mit minimalen Kosten von vorne herein eine günstige Position. Die Auswahl geeigneter Investitionsobjekte erfolgt bis heute fast ausschließlich an Hand von Kosten-Nutzen- Untersuchungen. Die Aussagefähigkeit der Kosten-Nutzen-Analyse wird deshalb im folgenden besonders betrachtet.

Das Problem der Prognose entsteht bei allen Planungsschritten und wird deshalb im folgenden ebenfalls einer genaueren Betrachtung unterzogen werden.

4. Prognoseverfahren und ihre Schwächen

Beschäftigt man sich mit Investitionsplanung im Verkehrswesen, so kommt man, da es sich hier um langfristige Planungen handelt, zwangsläufig zum Problem der Prognosen. Wegen der ungewissen Konsequenzen, die Investitionsentscheidungen im Verkehr nach sich ziehen, müssen Prognosen erstellt werden, um wenigstens ungefähre Vorstellungen über die Art und das Maß ihrer Auswirkungen zu gewinnen.[1] Mit Hilfe ökonometrischer Modelle werden bereits seit geraumer Zeit wirtschaftliche Prognosen erstellt.[2] Trotz der großen Bedeutung der Prognosen für das

---

1) Vgl. Theil, H., Boot, J.C.G., Kloek, T., Prognosen und Entscheidungen, Opladen 1971, S. 106 ff.

2) Siehe dazu: Menges, G. u.a., Entscheidung und Information, Frankfurt 1968

Menges, G., Grundmodelle wirtschaftlicher Entscheidungen, Köln und Opladen 1969

Management in der Politik und trotz der großen Fortschritte in der Weiterentwicklung von Prognosemethoden muß deutlich auf die Grenzen und Gefahren der Behandlung bestimmter unkontrollierbarer Variablen mit Prognoseverfahren hingewiesen werden.

Die Prognosen mit Zeitreihen beruhen auf der folgenden Vorgehensweise:

- Aus Daten der Vergangenheit werden Trends (mittels Regressionsanalyse) bestimmt.
- Die Abweichungen von den Trends werden dann auf zyklische Effekte untersucht.
- Danach werden die ermittelten Trends und Zyklen in die Zukunft extrapoliert.

Dabei tritt das grundlegende Problem auf, welche Daten zur Bildung von Zeitreihen verwendet werden sollen, denn die Auswahl der Daten beeinflußt nicht nur die Genauigkeit der Prognosen sondern auch ihre Wirtschaftlichkeit (z.B. wegen des Aufwandes für die Datenerfassung, Aufbereitung und Verarbeitung). Die Zeit, die bei diesen Zeitreihenprognosen die einzige unabhängige Variable ist, muß in geeignete Intervalle aufgeteilt werden. Dies ist manchmal problematisch, da die Beobachtungsintervalle, in denen die Daten festgestellt werden, nicht immer vergleichbar sind.

Ferner stellt sich die grundlegende Frage, inwieweit die Vorhersagen in die Zukunft reichen sollen. Diese Bestimmung des Vorhersagezeitraumes hängt eng mit der Ermittlung des Zeitraums zusammen, über den hinweg sich eine Verkehrsinvestition voraussichtlich auswirkt. Die geforderte Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Prognose hingegen engt den sinnvollen Vorhersagezeitraum ein, da die Prognosefehler im allgemeinen mit der Größe des Zeitraumes zunehmen und folglich die Gefahr der Fehlprognosen wächst. Ferner sollte eine Änderung der auf Grund von Fehlprognosen getroffenen Entscheidungen grundsätzlich möglich sein. Deshalb ist gleichzeitig mit der Prognoseerstel-

lung die Genauigkeit der Vorhersage zu überprüfen, um mögliche Auswirkungen fehlerhafter Voraussagen auf die getroffenen Entscheidungen erkennbar zu machen.

Die Genauigkeit von Prognosen hängt sehr stark von dem betriebenen Aufwand ab, doch es stellt sich die Frage, ob ein erhöhter Aufwand für eine geringe Verbesserung der Prognose überhaupt vertretbar ist.

Neben Prognosen mit Zeitreihen haben noch Hochrechnungsprognosen[1], eine Verbindung von Methoden der empirischen Sozialforschung mit Methoden der Stichprobentheorie, erhebliche Bedeutung im politischen Bereich. Hierbei werden Umfrageergebnisse als Grundlagen für Prognosen verwandt. Neben der Auswahl der zu befragenden Personen sind die für die Prognose zu Hilfe genommenen Vergleichszahlen und Erfahrungswerte nur unter Vorbehalt verwendbar. Eine Umfrage gibt auch nur die Einstellung der jeweiligen Person zum Zeitpunkt der Befragung wieder. Diese wiederum kann sich sehr schnell ändern.

Das Problem der Prognosen liegt jedoch nicht nur bei der Beschaffung und der richtigen Verarbeitung von Daten. Während in manchen Bereichen mit geringerem Komplexitätsgrad heute schon deterministische und weitgehend formalisierbare Prozesse für die Erstellung von Prognosen existieren, haben wir es im Verkehrswesen mit einem unsicheren und stark zufallsbedingten Phänomen zu tun, das äußerst komplexen Gesetzmäßigkeiten und starken zeitlichen Schwankungen unterliegt. Besonders schwierig ist die Tatsache, daß sich Verkehrsinvestitionen sehr langfristig auswirken; die bisher vorhandenen Zeitreihen, auf die sich die Prognosen stützen, decken jedoch nur relativ kurze Zeiträume ab. Eine Absicherung und Abstimmung ist kaum möglich, da die Zeiträume und die erfaßten Daten nicht vergleichbar sind.

---

1) Siehe dazu: Bruckmann, G., Hochrechnungsprognosen, in: Hertens, P. (Hrsg.), Prognoserechnung, Würzburg - Wien 1973, S. 217 - 235

Aber nicht nur die Folgewirkungen von Verkehrsinvestitionen sind ungewiß, sondern auch die künftige Nachfrage nach Verkehrsleistung in Bezug auf Art, Umfang und Richtung.[1] Ferner tritt die Nachfrage nach Verkehrsleistung zum Teil zeitlich sehr unregelmäßig auf. Das Verkehrssystem muß so dimensioniert werden, daß es die Spitzenbelastungen verkraftet. Sehr schwierig zu ermitteln ist auch der verkehrserzeugende Charakter der Verbesserung des Angebots von Verkehrsleistung.

Die Vielfalt des Verkehrssystems macht es schwierig, einheitliche Kriterien für alle Verkehrsarten herauszuarbeiten. Die räumliche Disaggregation der BRD und die Tatsache, daß statistische Raumeinheiten die sich überschneidenden Verkehrsverflechtungen zwischen den Planungsregionen nicht berücksichtigen, bringen weitere Erschwernisse bei der Erstellung regionaler und globaler Prognosen. Selbst wenn eine gute Prognose für die Gesamtnachfrage nach Verkehrsleistung gelingt, bereitet es große Probleme, die prognostizierte Gesamtnachfrage auf die einzelnen Verkehrsträger zu verteilen.

Die größte Schwäche der möglichen Prognoseverfahren liegt darin, daß sich das Phänomen Verkehr aus freien Handlungen von Millionen Menschen entwickelt. Die möglichen Handlungen freier Menschen sind aber weder modellmäßig zu erfassen noch mit Hilfe exakt wissenschaftlicher Verfahren prognostizierbar. Ebenso ist der künftige Individualverkehr kaum prognostizierbar. Den gegenwärtigen Prognoseverfahren liegt die Annahme zu Grunde, daß

"- die gegenwärtige Konzeption zur ordnungspolitischen Gestaltung der Verkehrsmärkte beibehalten wird,
- die Verkehrspolitik im Prinzip die gleichen Steuerungselemente wie heute anwendet,
- das bestehende Verkehrsnetz um die zum Zeitpunkt der Prognoseerstellung (1970/72) gesetzlich fixierten und finanziell abgesicherten Investitionen erweitert wird."[2]

---

1) Siehe dazu: Voigt, F., Verkehr, Erster Band, Erste Hälfte, Berlin 1973, S. 277 ff.

2) Deutscher Bundestag, 7. Wahlperiode, Unterrichtung durch die Bundesregierung, Drucksache 7/1045, Bonn 1973, S. 57

Damit werden für einen Zeitraum Fakten als feststehend angenommen, die es in der Realität nicht bleiben. Ein angenommenes künftiges Verkehrssystem wirkt für Prognosen einengend und präjudizierend.

Die Gesetzmäßigkeiten und Entwicklungsrichtungen der Vergangenheit sollen folglich nach entsprechender Transformation auch in Zukunft gelten. Es ist klar, daß diese einengenden Voraussetzungen, unter denen die Prognoseverfahren angewandt werden können, auch den Aussagewert der mit ihrer Hilfe erzielten Prognoseergebnisse sehr stark einengen. Prognosen basieren auf zwei Informationsquellen, den theoretischen Überlegungen und den empirischen Beobachtungen. Eine Prognose ist um so realistischer, je zuverlässiger die vorhandene Information ist, die bei der Erstellung der Prognose Berücksichtigung findet. Relativ verläßlich sind ohnehin nur wissenschaftlich fundierte Prognosen. Diese liegen dann vor, wenn die dabei verwendeten Methoden vollständig rekonstruiert werden können. Obwohl schon wegen der ungewissen Entwicklung unserer Gesellschaftsordnung und der nicht vorhersagbaren wissenschaftlich-technologischen Entdeckungen größte Exaktheit und Gewißheit hier nie zu erreichen sein werden, sind noch erhebliche Methodenverbesserungen möglich und auch notwendig. Ferner konnte man sehr oft beobachten, daß veröffentlichte Prognoseergebnisse Veränderungen hervorriefen und dadurch zu anderen als den prognostizierten Ergebnissen führten. Der menschliche Fehler, bei der Erforschung der Zukunft das zu sehen, was man gerne sehen möchte, also optimistisch zu sein, beeinflußt Prognosen auch sehr stark und soll zum Abschluß ebenfalls hier noch erwähnt werden.[1)]

---

1) Vgl. Rivett, P., Entscheidungsmodelle in Wirtschaft und Verwaltung, Frankfurt/New York 1974, S. 136

5. Kritische Beurteilung der Aussagefähigkeit der Kosten-Nutzen-Analyse für die Verkehrspolitik[1)]

Die Logik der Kosten-Nutzen-Analyse ist sehr einfach und überzeugend. Mit ihrer Hilfe werden die vorhandenen Investitionsalternativen durch ihre Kosten und ihre Nutzen (abgezinst und aufsummiert bezogen auf den Investitionszeitpunkt) charakterisiert. Auf Grund recht einfacher Entscheidungsregeln (z.B. die Differenz 'Nutzen - Kosten' oder das Verhältnis 'Nutzen : Kosten') kann diejenige Investitionsalternative ausgewählt werden, der auf Grund der benutzten Entscheidungsregel der größte Wert zukommt. Trotz ihrer einfachen und einsichtigen Logik darf aber die Frage nach der Anwendbarkeit der Kosten-Nutzen-Analyse für die Entscheidungsfindung beim Problem der Verkehrsinvestitionen nicht übersehen werden.

Die Kosten-Nutzen-Analyse, die als Planungs- und Entscheidungshilfe auf dem Verkehrssektor seit längerer Zeit verwendet wird, hat fast die gleichen Mängel, die die eben behandelten klassischen Investitionsrechnungsarten aufweisen. Hier steht man vor dem Problem des Bewertens (Messens) qualitativer Güter (insbesondere vor dem Problem des monetären Messens).

Analog zum Problem der Aufstellung einer Auszahlungs- und Einzahlungsreihe bei der Investitionsrechnung ist die Identifikation und Bewertung von Kosten und Nutzen der Verkehrsinvestitionen oft ebenso schwierig oder auch überhaupt nicht möglich. Dieses Problem wird noch erheblich größer dadurch, daß Investitionsentscheidungen auf dem Verkehrssektor Auswirkungen haben, die wenig überschaubar sind.

---

1) Zu diesem Problem gibt es eine sehr ergiebige Untersuchung von Tietzel, M., Die Effizienz staatlicher Investitionsentscheidungen im Verkehrssektor, Diss. Bonn 1972, Bern/Frankfurt 1972
Das Werk enthält ein vollständiges Verzeichnis der zum Problembereich der Kosten-Nutzen-Analyse existierenden Literatur und setzt sich kritisch mit ihr auseinander. Deshalb kann an dieser Stelle auf nähere Literaturangaben verzichtet und auf das dort vorhandene Literaturverzeichnis verwiesen werden.

Da die Kosten-Nutzen-Analyse nur dann zu qualitativ hochwertigen Aussagen führt, wenn eine entsprechend hochwertige Eingangsinformation vorhanden ist, wirkt sich das Fehlen von zuverlässigen Verkehrsprognosen sehr nachteilig aus. Gerade die Nutzenbestimmung beruht auf prognostizierten Nachfragefunktionen und ist folglich sehr schwierig.

Trotz der theoretischen und praktischen Mängel, mit denen die Aussagen der Kosten-Nutzen-Analyse behaftet sind, nimmt die Kosten-Nutzen-Analyse in der Bundesverkehrswegeplanung einen festen Platz ein. Man kann sogar sagen, daß die Prioritätenfestlegung des Bundesverkehrswegeplans in der Hauptsache nach Kosten-Nutzen-Kriterien vorgenommen wurde. Der eigentliche Grund dafür, daß die Kosten-Nutzen-Analyse als ein wichtiges Hilfsmittel angesehen wird, liegt allerdings in ihrem nichtquantitativen Bereich. Ihre Anwendung zwingt z.B. zu einer systematischeren Untersuchung der angestrebten Ziele, zu einer formaleren Beschreibung der möglichen Handlungsalternativen und zu einer wesentlich strengeren Feststellung der Zeitpunkte für das Anfallen von Kosten und Nutzen, was gerade für die öffentliche Hand als Entscheidungsträger besonders wichtig ist. Die Kosten-Nutzen-Analyse ist somit zur Optimierung politischer Investitionsentscheidungen zwar notwendig jedoch keineswegs hinreichend.[1)]

Die Frage nach der Notwendigkeit von Investitionsmaßnahmen wird durch die Kosten-Nutzen-Analyse nicht explizit gestellt, sondern auf Grund des gestiegenen Verkehrsaufkommens werden Investitionen als notwendige Tatsache für die Zukunft angesehen. Bei der derzeitigen Kosten-Nutzen-Analyse findet weniger ein Vergleich zwischen Kosten und Nutzen statt, sondern ein Vergleich wird im wesentlichen nur auf der Kostenseite durchgeführt, d.h. es wird die kostengünstigste Alternative gewählt. Das Kriterium heißt also eigentlich: Minimierung der Gesamtkosten. Bei der Ermittlung der Kosten entstehen vor

---

1) Vgl. Tietzel, M., a.a.O., S. 267

allem Probleme bei den indirekten Kosten, und somit ist die Aufstellung der Kosten meist unvollständig. Die größte Schwierigkeit bringt jedoch die Herstellung von Beziehungen zwischen den betrachteten Investitionsobjekten und den Kosten. Da dieser Zusammenhang bisher nur wenig befriedigend hergestellt werden konnte, darf die Kosten-Nutzen-Analyse nicht das einzige Kriterium für die Investitionsentscheidung bleiben.

6. Folgerungen

Die verkehrspolitischen Investitionsmaßnahmen der Gegenwart beruhen auf der Vorausschätzung der langfristig zu erwartenden strukturellen Entwicklung der Verkehrsnachfrage und auf der Grundlage der Kosten-Nutzen-Analyse (Kosten-Nutzen-Vergleich). Die bisherige Untersuchung hat gezeigt, daß diese Werkzeuge wegen der aufgezeigten Schwächen alleine nicht ausreichen können, das Problem zu lösen, das sich in der Frage stellt, inwieweit Verkehrsinvestitionen gesamtwirtschaftlich sinnvoll sind.

Das Verkehrssystem als Ganzes erbringt die Verkehrsleistung, und es ist falsch, die Verbesserung, die eine Investition im Zusammenwirken mit den bereits vorhandenen Anlagen erbringt, für sich zu bewerten. Der Vorteil, den eine zusätzliche Investition bewirkt, hängt sehr stark davon ab, welche anderen Investitionen gleichzeitig vorgenommen werden, und in welche vorhandene Konstellation von bereits vorhandenen Systemkomponenten die neue Anlage eingearbeitet wird. Der Vorteil, den ein zu betrachtendes Investitionsobjekt bewirkt, hängt ferner von der künftigen Entwicklung des Verkehrssystems ab, in das es eingefügt wird. Es bestehen also starke Interdependenzen zwischen bereits vorhandenen und durch Investitionen neu einzufügenden Systemteilen.

Um eine Berücksichtigung des technischen Fortschritts zu ermöglichen, ist es notwendig, möglichst flexibel zu planen,

d.h. anpassungsfähig an eventuelle neu- bzw. weiterentwikkelte Verkehrstechnologien. Diese Berücksichtigung ist mit den klassischen Methoden bisher nicht möglich. Je flexibler jedoch geplant wird, um so mehr wird das einer Investition anhaftende Risiko verringert.

Bei der Beurteilung von Investitionen, die in die Zukunft hineinreichen, müssen Daten berücksichtigt werden, die diese oft mit erheblichen Unsicherheiten behaftete Zukunft betreffen. Da jede Investitionsentscheidung in der Verkehrspolitik weit in die Zukunft hineinwirkt, hängt ihr Erfolg weitgehend von der Entwicklung der wirtschaftlichen Gegebenheiten in der Zukunft ab. Also muß für eine sinnvolle Verkehrspolitik ein Instrument geschaffen werden, das das Risiko, das sich aus der unsicheren künftigen Entwicklung ergibt, zumindest abschwächt.

Wenn man von fehlenden bzw. ungeeigneten Verfahren der Investitionsrechnung spricht, sollte berücksichtigt werden, daß die Investitionsplanung nicht nur aus der Anwendung perfekter Rechenverfahren besteht, sondern vielmehr die Beschaffung und problemgerechte Be- und Verarbeitung von Informationen ist. Diese Informationen können nicht mit Hilfe der Investitionsrechnungsverfahren erarbeitet werden, sondern müssen mit Hilfe anderer Methoden und Verfahren entstehen.

Die bisher verwendeten Methoden der Investitionsplanung gestatten keine Erwägung von möglichen Alternativen und sagen nichts darüber aus, was bei anderen Entscheidungen hätte erreicht werden können. Es werden aber Methoden benötigt, die dies unterstützen, um so eine systematische Suche nach optimalen Lösungen zu ermöglichen.

In der jüngsten Entwicklung einzelner wissenschaftlicher Disziplinen zeichneten sich Möglichkeiten ab, durch zweckgerichteten Einsatz neuerer Methoden und Maschinen dem Pro-

blem besser gerecht werden zu können. Man glaubte, daß mit Hilfe der Methoden des Operations Research ein Werkzeug geschaffen werden könnte, das bei der Entscheidungsfindung, der Durchführung und Kontrolle in der Verkehrsinvestitionsplanung die bisher fehlende Planungsgrundlage werden könnte.

IV. Untersuchung der Methoden des Operations Research im Hinblick auf ihre Verwendung bei der Investitionsplanung im Verkehrssektor

Heute bestreitet niemand mehr, daß die optimale Lösung für solch komplexe Entscheidungsprobleme, wie sie bei Investitionsentscheidungen in der Verkehrspolitik vorliegen, nur durch interdisziplinäre Zusammenarbeit aller relevanten Wissenschaftszweige erreicht werden kann. Also bieten sich die mathematischen Methoden des Operations Research (OR) hierzu an. Ihre Bedeutung und Anwendungsmöglichkeit werden durch eine gleichzeitige rasche Fortentwicklung der elektronischen Datenverarbeitung immer vielfältiger.

Eine erfolgreiche Anwendung des OR erfordert nicht nur die Beherrschung mathematischer Methoden. Zusätzlich sind tiefgehende Kenntnisse der praktischen Probleme in dem betreffenden Einsatzgebiet unerläßlich. Das erfordert vor allem solche Fachleute, die einerseits die Methoden kennen, andererseits aber auch noch in der Lage sind, die wirtschaftlichen Probleme genügend tief zu durchdringen, um dann den methodischen Apparat auf die speziellen Probleme anwenden zu können. Es werden theoretische und praktische Kenntnisse in gleichem Maße verlangt, denn hier ist es erforderlich, die Verfahren einer Wissenschaft nutzbringend in einer anderen Wissenschaft anzuwenden.[1] Solche Leute sind bisher kaum verfügbar.

Auf dem Verkehrssektor wurde OR bisher in der Hauptsache auf Teilprobleme - Transportprobleme oder sonstige Probleme mehr technischer Art - angewandt. Eine Verwendung des OR als Werkzeug bei einer Gesamtplanung im Verkehrswesen gibt es bisher nicht. Ein Grund hierfür ist die Tatsache, daß

---

1) Siehe dazu: Künzi, H., Unternehmensforschung in Wissenschaft, Wirtschaft und Politik, in: Proceedings in Operations Research, Vorträge zur Jahrestagung 1971 DGU, Würzburg-Wien 1972, S.3 ff.

einerseits bei vielen Praktikern schon der Ausdruck "Mathematisches Modell" Verwirrung und abweisende Reaktionen auslöst, da die Vertrautheit hiermit fehlt; andererseits ist die Ausbildung des Mathematikers heute zu formal-abstrakt und fast ohne Bezug zur Anwendung in anderen Wissenschaften.

Zur interdisziplinären Arbeit benötigen wir zusätzlich weitere Werkzeuge aus dem jeweiligen Anwendungsgebiet, hier speziell aus der Verkehrswissenschaft. Voigt[1] hat mit seiner Theorie der Verkehrswirtschaft die Absicht, "... daß ein Ansatz mit den Werkzeugen der modernen theoretischen Nationalökonomie viele Probleme der Verkehrswirtschaft besser erfassen und damit auch der praktischen Verkehrspolitik wichtige neue Entscheidungsgrundlagen zur Verfügung stellen..."[2] sollte.OR-Verfahren sind auf die Erkenntnisse der Verkehrswissenschaft, die die speziellen Probleme des Verkehrs aufzeigt, angewiesen. Es müssen hier noch vorhandene Lücken zwischen der verkehrswissenschaftlichen Literatur und der Literatur des OR geschlossen werden, denn gerade in der Herstellung eines Bezuges zwischen Realität und Theorie liegt der Schlüssel für weitere Fortschritte in den Wissenschaften.[3] Nur so kann erreicht werden, daß sich die praktische Verkehrspolitik bald aller denkbaren Hilfsmittel bedienen kann, die bisher nur nebeneinander existieren. Jedoch nur in sinnvollem Zusammenwirken können sie zur Bewältigung der schwierigen Aufgaben beitragen.

Zur Klärung der Frage, inwieweit die Methoden des OR bisher zur Lösung unseres Problems beitragen konnten, soll das Wesen des OR beschrieben, der Standort des OR im Planungs-

---

1) Voigt, F., Verkehr, Erster Band, Erste und zweite Hälfte, Berlin 1973

2) Ebenda, S.VII (Vorwort)

3) Vgl. Jaeger, A., Beziehungen zwischen Mathematik und Wirklichkeit in mathematischen Modellen von empirischen Strukturen, in: Proceedings in Operations Research, Vorträge zur Jahrestagung 1971 DGU, Würzburg-Wien 1972, S.15-33

prozeß festgestellt und die mathematischen Methoden des OR dargelegt werden. Die folgenden Abschnitte enthalten eine Auswahl einiger Methoden und Techniken des OR. Die Vielzahl der vorhandenen Methoden gestattet lediglich eine Auseinandersetzung mit nur wenigen Methoden. Obwohl die Auswahl recht willkürlich erscheinen mag, so wurde sie dennoch so getroffen, daß das große Spektrum der OR-Methoden in etwa abgedeckt wurde. Ferner gilt, obwohl relativ einfache Methoden gewählt wurden, daß die Schlüsse aus den hier untersuchten Methoden im wesentlichen auch auf kompliziertere OR-Methoden übertragen werden können und somit die später getroffenen Aussagen auch für hier nicht explizit betrachtete Methoden gelten. Die Darstellung soll etwas darüber aussagen, wie die Methoden prinzipiell arbeiten, und zwar soviel, wie benötigt wird, um die Aussagen über die Verwendungsmöglichkeit des OR in der Verkehrsinvestitionsplanung zu begründen und verständlich zu machen. Die folgenden Abschnitte enthalten ausführliche Literaturhinweise, weil im Rahmen dieser Untersuchung nicht detailliert genug auf die einzelnen Methoden eingegangen werden kann.

1. Wesensmerkmale des Operations Research

Ein möglicher Ausgangspunkt zur Beschreibung des Wesens des Operations Research wäre eine Definition. Operations Research ist aber in der vorhandenen Literatur auf sehr vielfältige Weise definiert worden.[1] Hier soll eine Kennzeichnung des Begriffs OR durch seine wesentlichen Charakteristika, die vor allem für diese Arbeit wichtig sind, genügen. Die Wesensmerkmale des OR sind:

- die Anwendung wissenschaftlicher Methoden, Verfahren und Hilfsmittel

1) Eine Zusammenstellung findet man bei Müller-Merbach, H., Operations Research als Optimalplanung, in: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung, 15.Jg. (1965), Heft 4, S.191 ff.

- Forschungsarbeit in interdisziplinären Teams
- Untersuchung der Arbeitsweise von Systemen
- Systemoptimierung[1)]

Beim OR werden also durch interdisziplinäre Teams wissenschaftliche Methoden, Verfahren und Hilfsmittel auf solche Probleme angewandt, die sich mit der Arbeitsweise (Funktionsweise) von Systemen befassen mit dem Ziel der Systemoptimierung.

Gerade die eben genannten Merkmale der Systembezogenheit, der interdisziplinären Zusammenarbeit und der wissenschaftlichen Methodik des Operations Research sind für diese Untersuchung von Interesse.

Ein Untersuchungsablauf im Rahmen des OR kann folgendermaßen aufgegliedert werden[2)]:

Problemanalyse
Modellierung
Algorithmierung
Programmierung
Modellprüfung
Einführung des Modells in die Praxis
Überwachung und Anpassung des Modells

---

1) Siehe dazu: Müller-Merbach, H., Operations Research, 2.Auflage, München 1971, S. 1 ff.

Ackoff, R.L., Sasieni, M.W., Operations Research, Stuttgart 1970, S.7

Churchman, C.W., Ackoff, R.L., Arnoff, E.L., Operations Research, 5.Auflage, München-Wien 1971

2) Siehe dazu: Ackoff, R.L., Sasieni, M.W., a.a.O., S.12

Autorenkollektiv, Mathematische Standardmodelle der Operationsforschung, Berlin 1971, S.29 ff.

Richter, K.J., Verkehrsökonometrie II, Berlin 1972, S.281 ff.

- Problemanalyse

  Die Problemanalyse formuliert das Problem, klärt, warum die Untersuchung durchzuführen ist, welchen Zielen sie dient und unter welchen Bedingungen sie ablaufen soll. Dies ist notwendig, da in der Praxis anfangs sehr häufig weder die Fragestellung noch der Inhalt des Problems exakt definiert sind.

- Modellierung

  In diesem Schritt muß das Problem in eine für die Analyse und Auswertung geeignete Form transformiert werden, was gewöhnlich durch die Konstruktion eines mathematischen Modells geschieht. Durch das Modell wird die Wirksamkeit (Güte, Qualität, Effektivität) des untersuchten Systems als Funktion einer Reihe von Veränderlichen dargestellt. Die eigentliche Modellbildung geschieht dadurch, daß den Systemgrößen mathematische Symbole zugeordnet werden, die dann, entsprechend der Realität, durch mathematische Relationen miteinander verknüpft werden. Bei der durch die Modellbildung bedingten Vereinfachung der Realität müssen die wichtigsten Zusammenhänge realitätsgetreu erhalten bleiben. Die erste Schwierigkeit liegt also in der Auswahl der tatsächlich wichtigen Faktoren des betrachteten Problems (Realproblem). Die zweite Schwierigkeit ist, eine geeignete Wahl der Variablen vorzunehmen (Formalproblem). Dies ist ausschlaggebend für die Einfachheit bzw. Kompliziertheit eines Modells und für den später erforderlichen Rechenaufwand. An dieser Stelle zeigt sich meistens schon, ob ein Problem in der vorgesehenen Form überhaupt lösbar ist oder nicht.

- Algorithmierung

  Die vorausgegangene Modellierung bietet die Möglichkeit, Algorithmen zu entwickeln. Die gegebenen Größen (Eingabegrößen) werden anhand eines Systems von Regeln in andere

Größen (Ausgabegrößen, Lösungen) umgeformt. Längst nicht für jedes Modell gibt es einen Algorithmus, der eine exakte Lösung liefert. Oft ist auch eine Verwendung von einmal entwickelten Algorithmen für die verschiedensten Problemstellungen möglich. Für die Lösung bestimmter Aufgaben ist jedoch die Anwendung vorhandener Algorithmen unzweckmäßig. Aus diesem Grunde haben sich neben den exakten Lösungsverfahren auch Näherungsverfahren durchgesetzt, die in vielen Fällen einen wesentlich geringeren Rechenaufwand erfordern.

- Programmierung

  Ebenso wie die Algorithmierung gehört die Programmierung zu der rechentechnischen Aufbereitung des Modells, die das Problem einer Lösung mit Hilfe des Computers zugänglich macht.

- Modellprüfung

  Bevor man eine Modellösung in die Praxis einführt, empfiehlt es sich zu prüfen, inwieweit das Modell den praktischen Erfordernissen gerecht wird. Sehr günstig ist es, wenn der Modelltest für einen vergangenen Planungszeitraum durchgeführt wird, für den die Daten und Ergebnisse bereits vorliegen.

- Einführung des erarbeiteten Modells in die Praxis

  Hier ist zunächst eine sorgfältige Erklärung (Deutung) der formalen Ergebnisse erforderlich, ehe diese in die Praxis umgesetzt werden können. Die bei der Modellierung vorgenommene Abstraktion muß jetzt umgekehrt werden.

- Überwachung der Gültigkeit der Ergebnisse und Anpassung des Modells an die sich verändernden Bedingungen der Realität

  Die geprüfte Lösung muß nicht nur in Anweisungen übersetzt werden, die von den verantwortlichen Personen verstanden

und verwendet werden können, sondern man muß stets bedenken, daß die Ergebnisse nur solange nutzbar sind, wie das Modell die Realität repräsentiert. Aus diesem Grunde müssen die ständigen Veränderungen in der Umwelt beobachtet und ihre wichtigen Einflüsse auf das ursprüngliche Modell festgestellt werden, damit dieses revidiert wird.

Die angegebenen Schritte können nicht immer in der aufgestellten Reihenfolge durchlaufen werden, denn es bestehen wechselseitige Beziehungen untereinander. Wichtig ist in jedem Fall, daß alle Schritte genauestens durchdacht werden.

OR findet Verwendung zwischen der Planungs- und Entscheidungsstufe eines handelnden Subjektes. Mit der Anwendung des OR sollen Entscheidungen vorbereitet, jedoch nicht gefällt werden. Die zu treffende Entscheidung soll im Hinblick auf ein vorher festgelegtes Ziel optimal sein. Es ist also nicht Aufgabe des OR, die Zielsetzungen auf ihre Richtigkeit zu überprüfen. "Optimal" ist hier so zu verstehen, daß das "am besten Erreichbare" in der durch das mathematische Modell beschriebenen Situation gemeint ist. Voraussetzung für die Behandlung der verschiedensten Probleme mit dem mathematischen Rüstzeug des OR ist die Abstrahierung des Problems durch ein Modell und die Definition der später zu optimierenden "Güte". Gerade hierin liegen die größten Schwierigkeiten.

Eine weitere Voraussetzung für die Anwendung von OR in der Praxis ist der Einsatz der EDV, denn ohne die technischen Möglichkeiten der EDV ist ein sinnvoller Einsatz der OR-Methoden nicht möglich.

2. Lineare und nichtlineare Planungsrechnung

Planungsrechnung ist ein Planungsverfahren, welches die günstigste Kombination gewisser wirtschaftlicher Faktoren unter dem Gesichtspunkt maximaler Effizienz errechnet. Sie ist das wohl wichtigste Instrument des Operations Research. Das für ökonomische Probleme wichtigste und bisher am weitesten erforschte Gebiet ist die lineare Planungsrechnung. Man spricht auch von linearer Programmierung, linearer Optimierung, Linearplanung oder linearer Programmplanung.

Die lineare Planungsrechnung beschäftigt sich mit der Optimierung einer linearen Funktion, deren Variablen einem System linearer Nebenbedingungen genügen müssen. Die allgemeine Beschreibung des Problems lautet:

Bestimme das Maximum (bzw. Minimum) der linearen Funktion $p_1z_1 + p_2z_2 + \ldots + p_nz_n$ (auch Zielfunktion oder Objektfunktion genannt).

In formaler Schreibweise: $p_1z_1 + p_2z_2 + \ldots + p_nz_n \longrightarrow$ Max! (Min!), oder vektoriell: $\vec{p} \cdot \vec{z} \longrightarrow$ Max! (Min!)

Die Fragestellung Maximum- oder Minimumproblem richtet sich danach, ob die Zielfunktion maximiert oder minimiert werden soll. Die Komponenten $p_1, \ldots, p_n$ des Vektors $\vec{p}$ heißen die Koeffizienten der Zielfunktion.

Die einzelnen Komponenten $z_1, \ldots, z_n$ des Vektors $\vec{z}$ sind die Aktionsvariablen des Programms. Diese Variablen müssen die Nebenbedingungen:

$a_{ij}z_j \gtrless b_i$ oder in vektorieller Schreibweise:

$\vec{A} \cdot \vec{z} \gtrless b$ erfüllen. $(i=1,\ldots,n;\ j=1,\ldots,m)$

Die Komponenten $b_1, \ldots, b_n$ des Vektors $\vec{b}$ stellen die Mindestanforderungen dar. Sie werden Beschränkungszahlen oder Kapazitäten genannt.

Die Koeffizienten a_{ij} der Koeffizientenmatrix $\vec{A}$ heißen Koeffizienten der Nebenbedingungen.
Die Nebenbedingungen werden also formuliert als lineare Gleichungssysteme, lineare Ungleichungssysteme oder lineare Mischsysteme. Ferner muß noch die Vorzeichen- oder Nichtnegativitätsbedingung: $z_j \geq 0$; (j=1,....,m) gelten.
Der Sammelbegriff für Nebenbedingungen und Vorzeichenbedingungen lautet: Restriktionen.

Eine strenge Linearität - insbesondere die der Zielfunktion - würde in vielen praktischen Fällen eine nicht vertretbare Idealisierung der Realität bedeuten. Deshalb kann die lineare Programmierung nur in einem engen Bereich angewandt werden. In einem Modell müssen oft nichtlineare Funktionen berücksichtigt werden. Mit diesem Problem beschäftigt sich die nichtlineare Planungsrechnung.

Die allgemeine Aufgabe der nichtlinearen Planungsrechnung kann folgendermaßen formuliert werden:

Bestimme das Maximum oder das Minimum einer Funktion $f(z_1,....,z_n)$, wobei die Variablen $z_1,....,z_n$ den Restriktionen $g_j(z_1,....,z_n) \geq 0$ und $z_i \geq 0$ genügen müssen.

(i=1,...,n; j=1,...,m)

In vektorieller Schreibweise lautet dies:

$$f(\vec{z}) \longrightarrow \text{Max! (Min!)}$$

$$g_j(\vec{z}) \geq 0$$

$$\vec{z} \geq \vec{0}$$

In der genannten allgemeinen Form können für nichtlineare Optimierungsprobleme keine Lösungsverfahren hergeleitet werden. Bisher liegen auf dem Gebiet der nichtlinearen Planungsrechnung nur für eingeschränkte Spezialprobleme umfangreiche Untersuchungen vor.

Als Lösung wird jeder Vektor $\vec{z} = (z_1,\ldots,z_n)$ bezeichnet, der den Nebenbedingungen genügt. Im allgemeinen gibt es viele solche Lösungen.
Jede Lösung, die zugleich die Nichtnegativitätsbedingung erfüllt (d.h. sie genügt sämtlichen Restriktionen), heißt eine zulässige Lösung.
Jede zulässige Lösung, für welche die Zielfunktion den optimalen Wert annimmt, heißt eine optimale Lösung.
Die Lösung einer Aufgabe der linearen bzw. nichtlinearen Planungsrechnung erfordert zunächst die Überprüfung, ob die Zielfunktion unter den gegebenen Restriktionen ein Maximum bzw. Minimum besitzt. Ist dies der Fall, so müssen der optimale Wert der Zielfunktion berechnet und die optimalen Lösungen der Aufgabe ermittelt werden.

Für lineare Probleme gibt es zahlreiche allgemeine Lösungsverfahren. Das bekannteste und am häufigsten verwendete Lösungsverfahren ist das Simplexverfahren. Es ist in fast allen Standardwerken über OR ausführlich anhand von Beispielen dargestellt.

Die nichtlinearen Probleme sind so unterschiedlich strukturiert, daß es kein einheitliches Lösungsverfahren gibt bzw. geben wird. Der Grund dafür liegt in der Vielfalt der möglichen Funktionstypen.

Das einfachste nichtlineare Problem - die Optimierung einer konvexen quadratischen Zielfunktion bezüglich linearer Restriktionen (quadratische Programmierung) - läßt sich durch geringfügige Abwandlung der Simplex-Methode (Beal'sches Verfahren) lösen. Weitere Verfahren zur Lösung solcher Probleme, die nicht so anschaulich sind, finden sich in der Fachliteratur.[1)]

---

1) Künzi, H.P., Krelle, W., Nichtlineare Programmierung, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1962

Die Theorie der nichtlinearen Programmierung beruht wesentlich auf der Arbeit von H.W.Kuhn und A.W. Tucker.[1] Sie erweitert die aus der klassischen Mathematik bekannte Methode der Lagrange-Multiplikatoren auf Probleme, in denen die Optimierung einer Funktion durch Ungleichungen anstatt nur durch Gleichungen beschränkt ist.

3. Spezialformen der Planungsrechnung

Im Hinblick auf die Vielfalt der Anwendungsnotwendigkeiten wurde bereits eine Reihe von Spezialformen der Planungsrechnung entwickelt und eingesetzt. Hier sollen folgende genannt werden:

- die parametrische Programmierung
- die ganzzahlige Programmierung
- die separable Programmierung
- die dynamische Programmierung
- die stochstische lineare Programmierung

Man spricht von parametrischer Programmierung[2] (Optimierung), wenn die Daten der Optimierungsaufgabe von Parametern (z.B. der Zeit) abhängen. Hängen die Daten von mehreren Parametern ab, spricht man von der "mehrparametrischen Optimierung", bei der Abhängigkeit von einem Parameter von der "einparametrischen Optimierung".

Viele praktische Anwendungen verlangen, daß die Komponenten des Lösungsvektors ganze Zahlen sind.

---

1) Kuhn, H.W., Tucker, A.W., Nonlinear Programming, in: Proceedings of the Second Berkley Symposium on mathematical statistics and probability, Berkley/Cal. 1950

2) Vgl. Dück, W., Bliefernich, M. (Hrsg.), Operationsforschung 2, Berlin 1972, S.171

Mit Hilfe der Methode der separablen Programmierung[1] werden bestimmte nichtlineare Funktionen stückweise durch Geraden approximiert. Es ist klar, daß in diesem Falle die Güte des Ergebnisses stark von der Güte der Approximation abhängig ist. Ferner erfordert diees Verfahren einen erheblichen Zeitaufwand.

Auf die dynamische Programmierung[2] wird in einem späteren Abschnitt eingegangen werden.

Aus der Vielzahl der zum Problem der linearen Planungsrechnung vorhandenen Literatur sollen an dieser Stelle einige wichtige Werke genannt werden.[3]

---

1) Vgl. Seuster, H., Einfluß und Bedeutung mathematischer Methoden bei der Planung landwirtschaftlicher Betriebsorganisationen, in: IBM-Nachrichten, 23.Jg.(1973), Heft 217, S.750

2) Siehe S. 79

3) Abadie, J. (Hrsg.), Nonlinear Programming, Amsterdam 1967

Beckmann, M.J., Lineare Planungsrechnung, Ludwigshafen 1959

Dantzig, G.B., Lineare Programmierung und Erweiterungen, Berlin, Heidelberg, New York 1966

Judin, D.B., Goldstein, E.G., Lineare Optimierung, Bd.I, II, Berlin 1968, 1970

Kadlec, V., Vodácek, L., Lineare Optimierung im Transportwesen, Köln-Opladen 1968

Kappler, H., Gradientenverfahren der nichtlinearen Programmierung, Göttingen 1967

Krekó, B., Lehrbuch der linearen Optimierung, 5.berichtigte Auflage, Berlin 1970

Krelle, W., Künzi, H.P., Lineare Programmierung, Zürich 1958

Künzi, H.P., Krelle, W., Einführung in die Mathematische Optimierung, Zürich 1969

Marcus, P., Der ökonomische Inhalt der Linearen Planungsrechnung, München 1966

Niemeyer, G., Einführung in die lineare Planungsrechnung mit ALGOL- und FORTRAN-Programmen, Berlin 1968

Piehler, J., Einführung in die lineare Optimierung, Zürich, Frankfurt 1964

Forts.d.Anm.S. 66

4. Graphen- und Netzwerktheorie

Die Graphentheorie, eines der einfachsten und elegantesten Teilgebiete moderner Mathematik, hat in den verschiedensten Wissenschaftszweigen (Physik, Chemie, Biologie, Fernmeldewesen, Ökonomie, Organisationstheorie) als vorteilhaftes Hilfsmittel bei der Bildung von Modellen und bei der Lösung von Problemen Verwendung gefunden. An Literatur[1)] besonders

---

Forts.d.Anm.4)

Piehler, J., Ganzzahlige Lineare Optimierung, Methoden und Probleme, Leipzig 1970

Thompson, G.E., Linear Programming, New York, London 1971

Vajda, S., Einführung in die Linearplanung und die Theorie der Spiele, 2.Auflage, München 1966

Vogel, W., Lineares Optimieren, 2.durchgesehene und ergänzte Auflage, Leipzig 1970

Zimmermann, H.J., Zielinski, J., Lineare Programmierung Berlin-New York 1971

1)
Berge, C., Théorie des graphes et ses applications, Paris 195

Berge, C., Ghouila-Houri, A., Programme, Spiele, Transportnetze, Leipzig 1969

Busacker, R.G., Saaty, T.L., Endliche Graphen und Netzwerke, München-Wien 1968

Ford, L.R., Fulkerson, D.R., Flows in Networks, Princeton 19

Kaufmann, A., Einführung in die Graphentheorie, München-Wien 1971

König, D., Theorie der endlichen und unendlichen Graphen, Leipzig 1936

Laue, R., Elemente der Graphentheorie und ihre Anwendung in den biologischen Wissenschaften, Braunschweig 1971

Müller-Merbach, H., Operations Research, 2.Aufl. München 197

Müller-Merbach, H., Optimale Reihenfolgen, Berlin-Heidelberg-New York 1970

Sedlácek, J., Einführung in die Graphentheorie, Frankfurt und Zürich 1972

Suchowizki, S.I., Radtschick, I.A., Mathematische Methoden der Netzplantechnik, Leipzig 1969

Thumb, N., Grundlagen und Praxis der Netzplantechnik, München 1968

Wagner, K., Graphentheorie, Mannheim 1970

Zaderenko, S.G., Netzwerk - Kritischer Weg- Planungs-und Programmierungssysteme, Wien 1966

Zimmermann, H.J., Netzplantechnik, Berlin 1971

aus der jüngsten Vergangenheit, mangelt es nicht, jedoch bereiten die hier vorhandenen großen Unterschiede in der Begriffsbildung dem Leser oft große Schwierigkeiten.
Sie ist als nützliches Werkzeug geeignet zur Beschreibung und Analyse komplexer Systeme, deren Elemente untereinander in Beziehung stehen. Die Graphentheorie ist deshalb als Basis für OR-Untersuchungen geeignet, da Graphen leicht zu veranschaulichen sind und wegen ihrer einfachen Struktur eine grobe Vereinfachung des tatsächlichen Problems erzwingen. Nach Lösung der vereinfachten Probleme können dann die bei der Simplifizierung vernachlässigten Bereiche wieder mitberücksichtigt werden. Man unterscheidet ungerichtete Graphen und gerichtete Graphen und dabei jeweils solche mit Parallelen (Multigraphen) und solche ohne Parallelen. Wichtig sind spezielle gerichtete Graphen, die Netzwerke. Netzwerke sind gerichtete Graphen ohne Zyklen (Kreise) mit einem Startknoten (es geht mindestens eine Kante von diesem Knoten aus, und es endet keine Kante hier) und einem Zielknoten (hier endet mindestens eine Kante, und es entspringt hier keine Kante). Jeder gerichteten Kante ist eine Belegung zugeordnet. In der Praxis sind diese Belegungen ein Maß für einen physikalischen Abstand, für eine Zeit, für Kosten und andere Faktoren, also reelle Zahlen. Häufig sind die gerichteten Kanten auch mit gegebenen Wahrscheinlichkeitsverteilungen, die Funktionen der Zeit sind,(mit stochastischen Prozessen) belegt.

Die Theorie der Graphen kann auf Netzwerkprobleme jeder Art angewandt werden (Transportsysteme, Zuordnungsprobleme usw.). In der Praxis ist ein Netzwerk oft die anschauliche Darstellung eines Planvorhabens in Gestalt eines Graphen, der die technologische Abhängigkeit zwischen Vorgängen wiedergibt. Für die Verwendung von Netzwerken sprechen ihre Anschaulichkeit und ihre Effizienz, da viele Probleme auf natürliche Art einem netzwerkähnlichen Modell entsprechen und sich somit

zwangsläufig auf Netzstrukturen abbilden lassen. Die Lösung Netzwerkproblemen ist meist mit sehr problemadäquaten effizienten Lösungsverfahren möglich und das in der Regel ohne Verwendung universeller Lösungsverfahren, beispielsweise aus der mathematischen Planungsrechnung.

Nachteile bei der Verwendung von Netzwerken entstehen bei ihrer Behandlung mittels EDV.[1] Netze können nicht unmittelbar auf EDV-Speichermedien gebracht werden. Sie müssen erst EDV-gerecht dargestellt werden, z.B. durch Inzidenzmatrizen oder in Listenform, was zu hohem Speicherplatzbedarf und langen Rechenzeiten (verursacht z.B. durch häufiges Absuchen von Listen) führen kann.

5. Graphentheoretische Beschreibung des Verkehrssystems

Die Graphen- und Netzwerktheorie eignet sich besonders gut für eine Beschreibung des Verkehrssystems. Das Verkehrssystem wird durch eine topologische Abbildung zu einem graphentheoretischen Modell abstrahiert. Den Komponenten des Verkehrssystems kommt im Graphen bzw. im Netzwerk die folgende Bedeutung zu:

Der Menge der Verkehrswege entspricht die Menge der Kanten des Graphen. Der Menge der Verkehrsleitstellen, Kreuzungen, Bearbeitungs- und Bedienungsstationen ist im Graphen die Menge der Knoten zugeordnet. Wir sprechen hier von einem Verkehrsnetz. Dieses Verkehrsnetz hat im allgemeinen folgende Eigenschaften:

- Es ist endlich.
- Es ist gerichtet. (Die Verkehrseinheiten bewegen sich in bestimmten Richtungen, und daher ist die Richtung unbedingt zu beachten.)
- Das Netz ist im allgemeinen symmetrisch, denn die Verkehrseinheiten können sich in beiden Richtungen bewegen. (Ausnahmen sind z.B. Einbahnstraßen.)

---

1) EDV = Elektronische Datenverarbeitung

- Da die Knotenpunkte durch mindestens einen Weg miteinander verbunden sind, ist das Netz zusammenhängend.

Bewegen sich mehrere Verkehrseinheiten auf einem Weg durch das Verkehrsnetz, so sprechen wir von Verkehrsströmen oder Verkehrsflüssen. Diese Verkehrsströme[1] können dann als Netzflüsse gedeutet werden.

Das Verkehrsnetz teilt das geographische Gebiet, in dem es liegt, in einzelne Verkehrsgebiete (Zellen) auf. Die in diesen Zellen vorhandenen Verkehrsspannungen bewirken Verkehrsvorgänge, die bei dem zu diesen Zellen zugehörigen Verkehrsknoten in das Netz einfließen (Quellverkehr) oder hier das Netz verlassen (Zielverkehr).

Wir legen ein cartesisches (x,y)-Koordinatensystem auf das geographische Gebiet. Mit dx dy bezeichnen wir das Flächenelement um den Punkt (x,y) des betrachteten Gebietes. Sei $h_t(x,y)$ die Anzahl der zur Zeit t pro Flächeneinheit anfallenden Verkehrsvorgänge, so ist $\iint h_t(x,y)dxdy$ ein Ausdruck für die im Gebiet zur Zeit t anfallenden Verkehrsvorgänge.

6. Netzplantechnik

Die Netzplantechnik umfaßt "alle Verfahren zur Analyse, Beschreibung, Planung, Steuerung und Überwachung von Projekten auf der Grundlage der Graphentheorie, wobei Zeit, Kosten, Einsatzmittel und weitere Einflußgrößen berücksich-

---

1) Siehe dazu: Strohm, D., Der Einfluß wirtschaftlicher Wechsellagen auf Verkehrsströme, Berlin 1969, S.18 ff.

Pirath, C., Die Grundlagen der Verkehrswissenschaft, 2. erweiterte Auflage, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1949, S.77 ff.

Voigt, F., Verkehr, Erster Band, Erste Hälfte, Berlin 1973, S.533 ff.

tigt werden können."[1] Alle Methoden der Netzplantechnik benutzen als gemeinsamen Ausgangspunkt für die Problemlösung den Netzplan, eine "graphische oder tabellarische Darstellung von Abläufen und deren Abhängigkeiten"[2], der als ein gerichteter, endlicher, zyklusfreier Graph aufgefaßt werden kann. Gerichtete Kanten und Knoten des Graphen heißen im Netzplan Pfeile[3] und Knoten[4]. Die Anfangs- und Endpunkte des Netzplanes werden Start- und Zielknoten genannt.[5]

Kombinationen der Eigenschaften aus der folgenden Liste beschreiben in der Regel die in der Praxis anfallenden Problemkreise:

- Das Projekt läßt sich in einzelne Abschnitte[6] zerlegen.
- Zwischen den einzelnen Abschnitten bestehen Abhängigkeiten.
- Die Dauer der Abschnitte liegt fest.
- Die Dauer der Abschnitte ist variabel.
- Die Menge und Qualität der Einsatzmittel wird nur implizit beachtet und als konstant angesehen.
- Die Menge und Qualität der Einsatzmittel ist in gewissen (Kapazitäts-) Grenzen variabel.
- Die Menge und Qualität der Einsatzmittel ist variabel.
- Die Dauer des Projektes liegt fest.
- Die Dauer des Projektes ist variabel.
- Mehrere Projekte sind voneinander abhängig (Multiprojektplanung).
- Mehrere Einsatzmittelarten werden in die Betrachtung einbezogen.

---

1) Ausschuß für Netzplantechnik (AFN) im Deutschen Normenausschuß (DNA), Netzplantechnik, Begriffe, DIN 69900 Blatt 1, Februar 1970 (im folgenden zitiert als: DIN-Netzplan)

2) DIN-Netzplan, a.a.O., S.1

3) "gerichtete Verbindung zweier Knoten", DIN-Netzplan, a.a.O., S.1

4) "Verknüpfungspunkte im Netzplan", DIN-Netzplan, a.a.O.,S.1

5) Siehe S. 67

6) Die Abschnitte können "Vorgänge" oder "Ereignisse" sein.

Praktische Probleme, die sich aus dem unterschiedlichen Zueinander dieser Eigenschaften ergeben, sind:

- Ablaufplanung
- Terminplanung
- Kapazitätsplanung
- Kostenoptimale Planung.

Wegen der ständigen Weiterentwicklung des Verfahrens zur Anpassung an die praktischen Erfordernisse einerseits und wegen der gleichzeitigen Verbesserung der Möglichkeiten der EDV andererseits hat sich die Netzplantechnik von einem Rechenverfahren zum Führungsinstrument auf höheren und höchsten Management-Stufen entwickelt. Sie ist allerdings ein Mittel, das mehr der Lenkung von Projekten dient.

Die Netzplantechnik zwingt zu einem systematischen Durchdenken von Projekten, was die folgenden wesentlichen Effekte hat:

- Trennung der Verantwortungsbereiche
- Erkennen der internen Abhängigkeiten in einem Projekt
- Erkennen der Abhängigkeiten von Randbedingungen
- Erkennung der Auswirkungen von sich ändernden Bedingungen
- Entwicklung optimaler Reaktionen auf sich ändernde Bedingungen

Die Netzplantechnik leistet somit einen erheblichen Beitrag für eine integrierte Gesamtplanung von Projekten.

Nach der Konstruktion des Netzplanes ist eine wichtige Phase der Projektplanung abgeschlossen. Es ist verständlich, daß Restriktionen bezüglich der Größen Zeit, Kapazität und Kosten jeweils zur entsprechenden Modifikation des logischen Ablaufplanes führen. Es tritt dann immer die Frage auf, unter welchen Zielen die Planung durchgeführt werden soll (z.B. Minimierung der Projektdauer oder Minimierung der Projektkosten, Minimierung der Projektkosten unter Beachtung

der Einsatzmittelbeschränkung usw.). Hier müssen dann andere OR-Methoden zur Problemlösung herangezogen werden. Die Vielzahl der Veröffentlichungen[1] in den letzten Jahren unterstreicht die große Bedeutung der Netzplantechnik.

---

1) Neben den auf S. 66 genannten Werken sollen hier noch folgende Veröffentlichungen genannt werden:

Autorenkollektiv, Handbuch der Netzplantechnik, Opladen 1971

Buttler, G., Netzwerkplanung, Würzburg/Wien 1968

Disch, W.K.A., Netzplantechnik im Marketing, Hamburg 1968

Falkenhausen, H.v., Prinzipien und Rechenverfahren der Netzplantechnik, 2.überarb.u. erw.Aufl., Kiel 1968

Gewald, K., Kasper, K., Schelte, H., Netzplantechnik, Methoden zur Planung und Überwachung von Projekten, Bd.II, Kapazitätsoptimierung, München/Wien 1972

Jacob, H., Anwendung der Netzplantechnik im Betrieb, Wiesbaden 1969

Leifman, L.J., Netzplantechnik bei begrenzten Ressourcen, Köln-Opladen 1968

Lockyer, K.G., Einführung in die Netzplantechnik, Köln-Braunsfeld 1968

Maschlanka, G., Scholz, K., Netzplantechnik, Methodische Einführung, Anwendungsbeispiele, Erfahrungen, Köln 1970

Ribbeck, K., Routensuchen in Stadtstraßennetzen, Diss.Aachen 1971

Voelzgen, H., Stochastische Netzwerkverfahren und deren Anwendungen, Berlin-New York 1971

Voigt, J.-P., Fünf Wege der Netzplantechnik, Köln 1971

Wille, H., Gewald, K., Weber, M., Netzplantechnik, Methoden zur Planung und Überwachung von Projekten, Bd.I., Zeitplanung, 2.Auflage, München-Wien 1967

7. Heuristische Planungsmethoden

Die verschiedenartigsten praktischen Optimierungsprobleme, vor allem kombinatorische Probleme, Reihenfolgeprobleme und Probleme der ganzzahligen linearen Planungsrechnung lassen sich nicht immer exakt lösen.[1] Die Gründe dafür sind:

- zu großer Rechenaufwand
- fehlende Eingabedaten
- fehlende exakte ("geschlossene") mathematische Verfahren.

In solchen Fällen, in denen aus einzelnen Elementen ein in sich geschlossener Plan aufgestellt werden soll, bieten sich heuristische Verfahren zur Behandlung des Problems an. Das Ziel ist ein sukzessives Aufbauen eines Plans aus Elementen.[2] Diese Planungselemente sind Begriffskombinationen, die bestimmten Restriktionen unterliegen. Unter Berücksichtigung der Restriktionen ist dann der bestmögliche Plan zu bestimmen. Man benutzt hier absichtlich den Begriff "bestmöglich", denn für heuristische Verfahren ist von vornherein klar, daß man nicht unbedingt die optimale Lösung findet. Man weiß nur, daß man einen guten Plan findet, der in die Nähe des Optimums führt. Damit kann man auch durchaus zufrieden sein, wenn berücksichtigt wird, daß ein Modell nur ein Abbild der Realität ist und folglich notwendigerweise Abweichungen (Ungenauigkeiten) auftreten müssen. Die System- und Umweltparameter, die bei einem Problem berücksichtigt werden müssen, sind ebenfalls in den seltensten Fällen exakt meßbar oder zahlenmäßig erfaßbar.

---

1) Vgl. Müller-Merbach, H., Operations Research, Berlin und Frankfurt 1969, S.273 ff.

2) Vgl. Weinberg, F., Zehnder, C.A. (Hrsg.), Heuristische Planungsmethoden, Berlin-Heidelberg-New York 1969, S.7 ff.

Jurecka, W., Zimmermann, H.J., Operations Research im Bauwesen, Berlin-Heidelberg-New York 1972, S.7

Zur Unterscheidung der "Güte" eines Plans werden die folgenden Begriffe verwendet:

- zulässiger Plan: alle Restriktionen sind erfüllt
- guter Plan: zulässiger Plan, der den Gütekriterien weitgehend entspricht
- optimaler Plan: bezüglich der Gütekriterien bester zulässiger Plan.

Die tatsächliche Abweichung der heuristischen Lösung von der optimalen Lösung kann erst dann genau festgestellt werden, wenn man die exakte Lösung kennt. Die Möglichkeit, zu einer exakten Lösung zu kommen, macht jedoch die Bemühung um eine heuristische Lösung uninteressant. Die große Anzahl heuristischer Verfahren kann darauf zurückgeführt werden, daß diese Verfahren fast ausschließlich für ganz spezielle Probleme entwickelt werden. Oft werden auch mehrere heuristische Verfahren kombiniert.

Will man die heuristischen Verfahren von den bisher dargelegten OR-Verfahren (Mathematische Planungsrechnung, Graphen- und Netzwerktheorie) abgrenzen, so ergeben sich die folgenden wesentlichen Unterschiede. Bei der mathematischen Planungsrechnung sind bereits die gleichen Begriffe (Restriktionen, Optimalkriterien) aufgetaucht. Hierbei sind die Restriktionen in Form von Gleichungen und Ungleichungen und das Ziel der Optimierung in Form einer Zielfunktion aufzustellen. Die mathematische Planungsrechnung sucht immer das absolute Optimum unter den zulässigen Lösungen. Diese Forderungen bedingen großen Rechenaufwand, und die Kapazität der elektronischen Rechenanlagen sowie die Leistungsfähigkeit bekannter Lösungsalgorithmen wird erheblich überschritten.

Die Probleme, auf die man die Graphen- und Netzwerktheorie anwendet, haben viele Ähnlichkeiten mit den Problemen, die mit heuristischen Verfahren gelöst werden. Die Netzplantechnik erfordert jedoch eine grundsätzlich festgelegte Reihenfolge

der einzelnen Elemente (Tätigkeiten). Dadurch wird sie zu speziell. Bei Problemen, die mit heuristischen Verfahren gelöst werden, ist die Reihenfolge noch frei wählbar, und sie muß somit erst bei der Lösung bestimmt werden. Die heuristischen Verfahren werden bei sehr großen und durch Standardverfahren nicht zu bewältigenden Problemen benutzt. Man muß dafür aber andere Nachteile gegenüber den exakten Verfahren in Kauf nehmen. Planungsprobleme, die zweckmäßigerweise mit heuristischen Methoden gelöst werden, können meistens nicht als mathematisches Modell dargestellt und einer vorhandenen Standardlösungstechnik zugeführt werden.

Die Menge der heuristischen Verfahren kann in zwei Teilmengen aufgeteilt werden:
- die Menge der Eröffnungsverfahren und
- die Menge der suboptimierenden Iterationsverfahren.

Eröffnungsverfahren sind solche, die zu einer Ausgangslösung führen, die durch erneute Anwendung des Verfahrens nicht weiter verbessert wird. Diese Ausgangslösung ist dann die Basis für das daran anschließende suboptimierende Iterationsverfahren, das im Gegensatz zu einem Optimierungsverfahren nicht zu der Optimallösung führen muß, sondern häufig in einem Suboptimum endet. Wenn man verschiedene Verfahren auf das gleiche Problem anwendet, so führt dies im allgemeinen zu verschiedenen Suboptima.

Trotz der Unsicherheit, die den heuristischen Verfahren anhaftet, ist es oft besser, eine weniger exakte als gar keine Lösung zu haben. Da bei den meisten Eröffnungsverfahren wenig Rechenaufwand notwendig ist, empfiehlt es sich, eine größere Zahl von Lösungen mit Eröffnungsverfahren zu berechnen und die beste auszuwählen, denn die Qualität der gefundenen Lösungen schwankt sehr stark.

8. Entscheidungsbaumverfahren

Für manche Probleme, bei deren Lösung die im vorigen Abschnitt behandelten heuristischen Verfahren verwendet werden, lassen sich auch exakte Lösungen berechnen. Dafür eignen sich vor allem die Entscheidungsbaumverfahren. Die wichtigsten dieser Entscheidungsbaumverfahren[1)2)] sind:

- Die vollständige Enumeration
- Die dynamische Planungsrechnung
- Das "Branch and Bound"-Verfahren

Diese Verfahren, die im allgemeinen bei größeren Problemen einen enorm hohen Rechenaufwand erfordern, werden meist nur dann verwendet, wenn

- eine exakte Lösung verlangt wird,
- heuristische Verfahren schlechte Ergebnisse liefern,
- der Rechenaufwand in vertretbarer Höhe liegt.

Das Grundprinzip aller Entscheidungsbaumverfahren ist, alle möglichen Lösungen eines Problems zu berechnen und dann die beste Lösung auszuwählen.

Die Entscheidungsprobleme können folgendermaßen unterschieden werden:

- eine einmalige Entscheidung
- mehrere voneinander unabhängige Entscheidungen
- mehrere voneinander abhängige Entscheidungen.

Die einfachste Methode zur Lösung der Probleme, die sich durch Entscheidungsbäume darstellen lassen, ist die vollständige Enumeration oder auch Vollenumeration. Hierbei werden zunächst alle möglichen Lösungen berechnet, und dann wird die beste Lösung ausgewählt. Der notwendige Rechenaufwand hängt von der Zahl der verschiedenen Lösungen ab, die

---

1) Vgl. Müller-Merbach, H., a.a.O., S.308 f.

2) Ebenfalls zu den Entscheidungsbaumverfahren werden gerechnet: Spieltheorie (siehe S.84), Warteschlangentheorie (siehe S.23), Simulation (siehe S. 26).

für ein Problem existieren. Es wird oft bei speziellen Problemen verwendet, für die sich die Erarbeitung eines speziellen Lösungsverfahrens nicht lohnt. So sind z.B. für die Lösung des Travelling Salesman Problems[1] durch Vollenumeration bei n zu durchlaufenden Orten (n-1)! verschiedene Lösungen[2] zu berechnen. Bevor man sich für ein Verfahren entscheidet, sollte überprüft werden, ob seine Anwendung den Forderungen nach Wirtschaftlichkeit genügt.

9. Zur Anwendung der Entscheidungsbaumverfahren bei einer flexiblen Investitionsplanung[3] im Verkehr

Die eben dargestellten Methoden des OR könnten für das Problem der Investitionsplanung im Verkehr bedeutsam werden, denn eine ökonomisch optimale Investitionsplanung ist nur möglich, wenn die folgenden wichtigen Tatbestände berücksichtigt werden können:

- Die Realisierung von Verkehrsinvestitionen erfordert eine beträchtliche Zeitspanne.
- Bei der Beurteilung der Investitionsobjekte muß das zukünftige Verkehrsgeschehen berücksichtigt werden.
- Die Mittel für die Realisierung sind knapp, so daß eine Auswahl sowie eine Reihenfolge für einen längeren Zeitraum festgelegt werden müssen, die dann ständig zu überprüfen sind.
- Die Beurteilung der Investitionsobjekte muß das jetzige und das zukünftige Verkehrssystem berücksichtigen, um das optimale Investitionsprogramm zu ermitteln.

Die Investitionsplanung, die diese unsicheren Erwartungen über die Entwicklung der Umwelt mitberücksichtigt, kann nur

---

1) Vgl. Müller-Merbach, H., a.a.O., S.310 ff.

2) $(n-1)! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \ldots (n-2) \cdot (n-1)$

3) Siehe dazu: Laux, H., Flexible Investitionsplanung, Opladen 1971

eine flexible Investitionsplanung sein. Nur bei der flexiblen Investitionsplanung werden künftige Aktionen noch nicht endgültig festgelegt. Man legt zunächst nur die zu Beginn des Planungszeitraums zu realisierenden Maßnahmen fest. Für künftige Zeitpunkte werden Teilpläne erstellt. Die tatsächliche Verwirklichung dieser Teilpläne zu den folgenden Zeitpunkten hängt davon ab, wie sich die Umwelt bis dahin entwickelt hat. Der Vorteil der flexiblen Investitionsplanung ist, daß sie eine optimale Anpassung an die Entwicklung der Umwelt ermöglicht. Bei der Investitionsplanung im Verkehr können in der Regel nicht alle möglichen Umweltentwicklungen berücksichtigt werden, da deren Zahl sehr groß ist und, selbst wenn die Planungskapazität ausreichen würde, die Kosten für eine solche Planung zu hoch wären; es kann also nur mit einer repräsentativen Umweltentwicklung gerechnet werden. Dadurch werden zwar die Entscheidungsmodelle sehr vereinfacht, der grundsätzliche Modellaufbau wird jedoch nicht verändert.

Mit Hilfe eines Graphen (Zustandsbaumes) werden die durch die erste Entscheidung bedingten Umweltfolgen, die zu den späteren Zeitpunkten eintreten können, übersichtlich dargelegt und - wenn möglich - mit den jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeiten versehen. Sowohl die sichere Umwelt als auch die möglichen Umweltfolgen zu den späteren Zeitpunkten werden in einem solchen Graphen durch Knoten gekennzeichnet.

Im Entscheidungsbaum werden explizit alle möglichen Strategien, die der Investor in dem betreffenden Planungszeitraum durchführen kann, gekennzeichnet. Folglich wird der Entscheidungsbaum erheblich umfangreicher sein als der Zustandsbaum und daher praktisch nur sehr schwer zu handhaben sein.

Eine flexible Investitionsplanung kann auch auf der Grundlage der linearen Planungsrechnung erfolgen. Dazu sind jedoch sehr einschränkende Voraussetzungen notwendig wie z.B. Linearität der Zielfunktion und der Nebenbedingungen. Für die

Lösung eines solchen Problems mit Hilfe der linearen Planungsrechnung würde die Kapazität einer Rechenanlage nicht ausreichen. Von den Entscheidungsbaumverfahren ist vor allem die im folgenden Abschnitt erörterte dynamische Programmierung sehr zweckmäßig, denn hierbei werden nach der Zerlegung des Gesamtproblems in Teilprobleme diese optimal gelöst. Bei der Anwendung der dynamischen Programmierung ist in mindestens einem der Teilmodelle eine Bewertung von noch nicht abgeschlossenen Investitionsprojekten vorzunehmen. Die Investitionsplanung im Verkehr, bei der die folgenden Schwierigkeiten

- mehrere Projekte, die sich in bestimmten Situationen zur Durchführung anbieten, schließen sich gegenseitig aus,
- die Durchführung einzelner Projekte muß oft zeitlich verschoben werden,
- die Investitionsprojekte müssen durch Anpassungsinvestitionen an die verschiedenen möglichen Umweltentwicklungen während ihrer Verwirklichungszeit angepaßt werden,

auftreten, könnte sicher mit Hilfe der Entscheidungsbaumverfahren verbessert werden. Da sich auch der Informationsstand im Zeitablauf verbessert, ist es nicht sinnvoll, schon zu Anfang einer so langfristigen Planung endgültig und unwiderruflich die künftigen Aktionen festzulegen.

10. Dynamische Programmierung

Die dynamische Programmierung ist eine mathematische Technik, die eine bestimmte Art sequentieller Entscheidungsprobleme löst. Das sind solche Probleme, bei denen eine Folge von Entscheidungen zu treffen ist, wovon jede die zukünftigen Entscheidungen beeinflußt. "Die Güte einer Entscheidung wird dabei nicht an ihrer momentanen Wirkung, sondern an ihrem

Einfluß auf den Prozeß als Ganzes gemessen."[1] Bei der dynamischen Programmierung werden bereits vorhandene Optimierungsverfahren eingesetzt. Der Rechenaufwand, der zur Lösung eines Problems erforderlich ist, wächst exponentiell mit der Zahl der Variablen. Zerlegt man jedoch ein großes Problem zunächst in Teilprobleme mit wenigen Variablen, so steigt der Rechenaufwand lediglich linear mit der Anzahl dieser Teilprobleme. Wegen dieser Tatsache werden große Probleme in kleine Teilprobleme mit nur wenigen Variablen zerlegt. Das führt zu dem Namen "dynamische Programmierung". Von Richard Bellmann[2], der allgemein als Vater der dynamischen Programmierung angesehen wird, stammt der englische Name "dynamic programming".

Bedingungen wie bei der linearen Planungsrechnung, daß die Zielfunktion und die Nebenbedingungen linear sein müssen, gibt es bei der dynamischen Planungsrechnung nicht. Hierbei wird verlangt, daß die Zielfunktion separabel ist, d.h.,daß die Zielfunktion in Teile aufgespalten werden kann, die nur von einer Entscheidungsvariablen abhängen.

Aus der Vielzahl der in den letzten Jahren erschienenen Werke können hier nur einige wichtige genannt werden.[3]

---

1) Gessner, P., Wacker, H., Dynamische Optimierung, München 1972, S.5

2) Bellmann, R.E., Dynamic Programming, Princeton 1957

Bellmann, R.E., Dynamische Programmierung und selbstanpassende Regelprozesse, München-Wien 1967

Bellmann, R.E., Dreyfus, S.E., Applied Dynamic Programming, 3.Aufl., Princeton 1966

3) Aris, R., Discrete Dynamic Programming, London 1964

Beckmann, M.J., Dynamic Programming of Economic Decisions, Berlin-Heidelberg-New York 1968

Elsner, K., Mehrstufige Produktionstheorie und dynamisches Programmieren, Meisenheim 1964

Howard, R.A., Dynamic Programming and Markov Processes, New York 1960

Kaufmann, A., Graphes, Dynamic Programming and Finite Games, London 1967

Künzi, H.P., Müller, O., Nievergelt, E., Einführungskurs in die dynamische Programmierung, Berlin-Heidelberg 1968

Nemhauser, G.L., Einführung in die Praxis der dynamischen Programmierung, München, Wien 1969

Wentzel, J.S., Elemente der dynamischen Optimierung, München 1966

Eine gute Beschreibung des Vorgehens beim dynamischen Programmieren finden wir bei Jurecka/Zimmermann[1]. Auch bei der dynamischen Programmierung gäbe es sinnvolle Beispiele, deren Umfang allerdings über den Rahmen dieser Arbeit hinausginge. Im Werk von Gessner/Wacker[2] werden für gewisse Programmklassen der dynamischen Optimierung, für deren Lösung sich ein einheitliches Grundprinzip finden läßt, einheitliche Modelle entwickelt. Das Werk von Künzi/Müller/Nievergelt[3] gibt einen guten Einblick in die Technik der dynamischen Programmierung und bietet einen guten Überblick über ihre Verwendungsmöglichkeit. Es enthält außerdem einige sehr anschauliche Beispiele.

Bei Problemen mit zufallsabhängigen Einflußgrößen, die bestimmte Voraussetzungen erfüllen, ergeben sich interessante Weiterentwicklungen der einfachen Algorithmen der dynamischen Programmierung. Man spricht in diesem Zusammenhang von dynamischer Programmierung und Markov-Prozessen. Kennzeichnend für die Markov-Prozesse ist, daß die Vergangenheit die Zukunft nur über die Gegenwart beeinflußt.[4] Die Zukunft baut nur auf dem Gegenwartszustand auf, weil sich die Vergangenheitsereignisse im Prozeßzustand der Gegenwart niederschlagen.

Man spricht von einem endlichen diskreten Prozeß, wenn ein System nur endlich viele Zustände hat und wenn man nur die Übergänge von einem Zustand in den anderen registriert.[5] Ein diskreter Markov-Prozeß liegt dann vor, wenn die Wahrscheinlichkeit p_{ij}, die angibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit das System im nächsten Zeitabschnitt vom Zustand i in den Zustand j übergeht, nur von i und j abhängt und nicht von Zuständen, in denen das System vor dem Eintreten in den Zustand i war. Beispiele finden sich bei Künzi/Müller/Nievergelt und bei Howard.[6]

---

1) Jurecka, W., Zimmermann, H.J., a.a.O., S.57 ff.
2) Gessner, P., Wacker, H., a.a.O., S.6
3) Künzi, H.P., Müller, O., Nievergelt, E., a.a.O.
4) Vgl. Müller-Merbach, H., a.a.O., S.395
5) Vgl. Künzi, H.P., Müller, O., Nievergelt, E., a.a.O., S.77
6) Siehe dazu: Howard, R.A., a.a.O.

Alle Probleme, die mit der linearen oder nichtlinearen Planungsrechnung gelöst werden können, lassen sich auch mit der Methode der dynamischen Programmierung lösen. Es muß dann pro Restriktion eine Zustandsvariable und pro Variable eine Stufe oder Periode eingeführt werden. Damit werden die Grenzen der dynamischen Programmierung ganz deutlich durch den erforderlichen Rechenaufwand bestimmt.

Zum Abschluß sollen die Vorteile der dynamischen Programmierung zusammengefaßt werden:

- Die Zielfunktion ist beliebig und unterliegt keinen einschränkenden Bedingungen (z.B. Linearität, Konvexität usw.).
- Bei den übrigen mathematischen Methoden bringt die Bedingung, daß die Lösung ganzzahlig sein muß, große Schwierigkeiten mit sich oder macht die Lösung des Problems mit diesen Methoden unmöglich.
- Bei der dynamischen Programmierung ist die Rechengenauigkeit gewährleistet und somit kein Problem wie z.B. beim Simplex-Verfahren.

11. Branch and Bound-Verfahren

Wir betrachten ein Problem mit endlich vielen Lösungen. Jede Variable kann nur endlich viele diskrete Werte annehmen. "Durch die Diskretisierung der Variablen wird ihre Deutung als mathematische Formulierung eines qualitativen Entscheides (ja-nein) nahegelegt; jeder Entscheid kann unabhängig von den anderen gefällt werden; das Resultat dieses Entscheides hängt eventuell jedoch von den schon vorher getroffenen Entscheidungen ab. Somit sieht man, daß der Lösungsraum aus einer Anzahl von Punkten besteht, die exponentiell mit der Anzahl der Variablen zunimmt".[1] Der eben dargelegte Sachverhalt

1) Weinberg, F. (Hrsg.), Einführung in die Methode Branch and Bound, Berlin, Heidelberg, New York 1968, S.13

läßt sich an dem zum jeweiligen Problem gehörigen Graphen (Baum) veranschaulichen. Ein Entscheidungsbaum hat genau soviele Ebenen wie das Problem Variable, denn diese entsprechen einander. Es ist klar, daß größere Probleme nicht aufgezeichnet werden können. Deshalb ist es notwendig, eine Methode zu finden, die anzeigt, ob eine Weiterverfolgung des Astes, auf dem man sich befindet, überhaupt sinnvoll ist. Diesem Wunsch entspricht das Branch and Bound-Verfahren, das auf der folgenden Technik beruht:

Man beginn mit der Menge aller Lösungen, die jedoch zunächst noch unbekannt sind. Man kennt nur eine untere Grenze für den Wert der Zielfunktion. Die Menge der Lösungen wird in zwei (mehrere) elementefremde Mengen aufgespalten. Dieser Vorgang wird Branching genannt. Für jede der elementefremden Mengen bestimmt man wieder eine untere Zielfunktionsgrenze, die größer oder gleich der Grenze für die Menge aller Lösungen ist. Diese neue Bestimmung der Untergrenze bezeichnet man als Bounding. Die in der Menge mit der niedrigsten Untergrenze enthaltenen Lösungen werden wiederum in elementefremde Teilmengen aufgespalten, für die dann jeweils eine unter Grenze bestimmt wird. Enthält die Menge mit der unteren Zielfunktionsgrenze nur noch eine Lösung, ist das Verfahren beendet.

Die Güte des Branch and Bound-Verfahrens hängt sehr wesentlich von der Güte der Berechnung der unteren Grenze für den Wert der Zielfunktion ab. Ein gutes Beispiel finden wir bei Weinberg.[1)]

Für jede Problemstellung, die sich mit beiden Verfahren lösen läßt, ist die dynamische Programmierung die elegantere und einfachere Methode. Bei Branch and Bound hat man aber den Vorteil, daß möglicherweise eine zweit- und eine drittbeste Lösung aufgezeigt werden können, die die dynamische Programmierung nicht liefern kann. Diese weiteren Lösungen können jedoch sehr oft von großer Bedeutung sein.

1) Vgl. Weinberg, F. (Hrsg.), a.a.O., S.1 ff.

12. Spieltheorie

John von Neumann und Oskar Morgenstern[1], die als Begründer der Spieltheorie angesehen werden, fanden den Ansatz für ihre Arbeiten bei dem französischen Mathematiker Borel.

In der Spieltheorie werden nicht reine Glücksspiele sondern strategische Spiele betrachtet, d.h. solche, bei denen die Entscheidungen des Spielers den Spielausgang beeinflussen. Die Entscheidungen der teilnehmenden Spieler (die i.a. in Konkurrenz zueinander stehen) und gewisse Zufälle (z.B. Kartenverteilung) bestimmen den Ausgang eines Spieles. Man kann zeigen, daß Matrixspiele mit Hilfe der linearen Programmierung gelöst werden können. Umgekehrt hat Dantzig[2] bewiesen, daß jedes lineare Programm auf ein Spielproblem zurückgeführt werden kann. Es sind allerdings schnelle und mit hoher Speicherkapazität ausgestattete Computer notwendig, um größere Probleme mit mehreren Nebenbedingungen zu lösen. In der Spieltheorie wird versucht, die Interessen von Spieler und Gegenspieler (Interessenkonflikte) durch ein strategisches Spiel modellmäßig zu erfassen.[3]

Abschließend soll noch bemerkt werden, daß die Spieltheorie zwar theoretisch (formal) sehr weit vorangetrieben wurde, ihre Anwendung in der Praxis jedoch bisher noch sehr weit zurück ist.

---

1) Neumann, J.v., Morgenstern, O., Spieltheorie und wirtschaftliches Verhalten, Würzburg 1961

2) Dantzig, G.B., A proof of the equivalence of the programming problem and the game problem, Cowles Commission Monograph Nr.13, Wiley 1951

3) Siehe dazu: Burger, E., Einführung in die Theorie der Spiele, Berlin 1966

13. Folgerungen

Da wir einerseits das Problem der Investitionsplanung in der Verkehrspolitik kennen und andererseits in den vorausgegangenen Abschnitten das Prinzip und die Arbeitsweise von OR-Methoden untersucht haben, geht es nun darum festzustellen, was die Methoden zur Problemlösung beitragen können.

Die Untersuchung der OR-Methoden zeigt, daß diese für die Lösung von mikroökonomischen Problemen am ehesten geeignet sind. Die Anwendung der OR-Methoden setzt voraus, daß das betrachtete System bekannt und voll erfaßbar ist. Die Planungsvariablen dürfen sich nur in einer vorher bekannten Weise verändern, was wiederum erfordert, daß der gesamte Handlungsspielraum überschaubar ist. Mit Hilfe der OR, vor allem aber der Planungsrechnung wird Planung unter vollkommener Information betrieben. Die Beziehungen zwischen Konstanten und Variablen der Planung müssen in relativ einfachen Gleichungs- bzw. Ungleichungssystemen darstellbar sein. Nur wenn der Planungsprozeß in den dargelegten Schritten gut überschaubar ist, gelangt man ohne wesentliche Schwierigkeiten von der Problemanalyse zur Modellanwendung.

Es müssen aber noch weitere einengende Voraussetzungen für eine Anwendung der OR-Methoden erfüllt sein. Man setzt voraus, daß sich die Umwelt durch die mit Hilfe des OR gefällte Entscheidung nicht verändert, und unterstellt, daß Umweltänderungen andere Ursachen haben. Ferner wird angenommen, daß der Entscheidende keine Möglichkeit hat, das Verhalten der Umwelt direkt und zwingend zu beeinflussen. Auch sind den Handlungsmöglichkeiten der entscheidenden Institutionen z.B. gesetzliche oder moralische Grenzen gesetzt oder sie unterliegen bestimmten anderen Restriktionen, z.B. Knappheit der finanziellen Mittel.

Diese einengenden Voraussetzungen sind schon bei großen Unternehmen nicht erfüllt und gelten erst recht nicht bei investi-

tionspolitischen Entscheidungen in der Verkehrspolitik. Man versucht diese Schwierigkeiten zu umgehen, indem große Probleme in eng gefaßte Teilprobleme zerlegt werden, für die dann die o.a. Voraussetzungen noch erfüllt sind.
Mag diese Zerlegung bei großen Unternehmen noch gelingen, so ist dies nicht mehr möglich, wenn der Staat als makroökonomischer Unternehmer auftritt.

Im Gegensatz zu den o.a. Voraussetzungen für die Anwendung von OR-Methoden bei kleinen Unternehmen gelten hier folgende Voraussetzungen, die zusätzliche Erschwernisse verursachen:

- Staatliche Investitionsentscheidungen in der Verkehrspolitik verändern die Umwelt oft so stark, daß Rückkopplungseffekte auftreten.
- Da der Staat in weiten Teilen des Verkehrswesens (Post, Bahn) über ein Monopol verfügt, zwingt er der Umwelt ihr Verhalten förmlich auf und verursacht wiederum Rückkopplungseffekte.
- Ein Teil der Restriktionen, die die Entscheidungs- bzw. Handlungsmöglichkeiten der staatlichen Entscheidungsträger beeinflussen, ist nicht so zwingend wie bei privaten Unternehmen, so können hier z.B. finanzielle Engpässe durch Steuererhöhungen abgebaut werden.
- Das Fortbestehen des Staates hängt nicht von Investitionsentscheidungen ab, getroffene Fehlentscheidungen führen vielleicht zum Regierungswechsel.
  Der Staat hat keine Konkurrenten zu fürchten. Durch die eigene Gesetzgebung ist er in der Lage, Konkurrenten auszuschalten.
- Beim Staat treten allerdings aus politischen Gründen oft sehr starre Restriktionen auf, die häufig zu kleinlichen Entscheidungen führen.
- Wegen seiner Monopolstellung im Verkehr muß der Staat auch dort Dienstleistung erbringen, wo sie unrentabel ist.

Das macht deutlich, wie schwierig es ist, die staatlichen Entscheidungsträger bei ihren Investitionsentscheidungen durch OR-Verfahren zu unterstützen, denn wegen der vielfältigen Aufgaben kommt es im allgemeinen nur dazu, daß globale Richtungen festgelegt werden (z.B. in Regierungserklärungen); die konkreten Entscheidungen werden völlig unkoordiniert getroffen. Das erschwert aber die Erarbeitung einer Zielfunktion sowie deren Optimierung und Koordinierung. Oft stören sich die planenden Institutionen gegenseitig, so daß geplante Erfolge einer Institution durch Pläne anderer Institutionen verhindert werden. Das ist der Grund dafür, daß bisher lediglich kleinere Probleme der öffentlichen Hand der Behandlung mit OR-Methoden zugänglich sind.

Das Gewinn- bzw. Verlustkriterium, das im OR das wesentliche Optimierungskriterium überhaupt darstellt, ist für solche ganzheitliche Aufgaben des Staates wie die optimale Planung des Verkehrssystems nicht direkt anwendbar.
Das bisherige Kriterium heißt in unserem Falle 'die Zufriedenheit des Volkes', was aber einer quantitativ-mathematischen Erfassung und Optimierung mit OR-Methoden praktisch nicht zugänglich ist. Hier sind bisher theoretische Ansätze (z.B. mit Hilfe ökonometrischer Nutzenfunktion gemacht worden.

Die Aufteilung der Globalprobleme in mehrere Teilprobleme dient bisher dazu, einen Überblick über das Systemverhalten in seiner Gesamtheit zu verschaffen, unüberschaubere Projekte überschaubar zu machen und stufenweise zu verwirklichen. Diese mehr systemtheoretische Vorgehensweise ist ein erster notwendiger Schritt für die Bewältigung von Problemen solch globalen Ausmaßes, der weniger die Suche nach einer einzigen optimalen Handlungsstrategie unterstützt als vielmehr das Finden mehrdimensionaler rationaler Verhaltensregeln zum Ziele hat. Man ist hier aber von der Anwendungsmöglichkeit klassischer OR-Methoden weit entfernt.

Ein weiterer Grund dafür, daß OR auf dem Gebiet der öffentlichen Verwaltung bei Globalproblemen bisher nicht seiner ursprünglichen Bestimmung gemäß einen wesentlichen Beitrag zur Problemlösung hat liefern können, liegt darin, daß die Praxisorientiertheit der Wissenschaft auf diesem Gebiet fehlt.

OR hat sich als Wissenschaft immer mehr der Theorie zugewendet und ist heute gar nicht die problemorientierte, wissenschaftliche interdisziplinäre Vorgehensweise unter Verwendung von Methoden der angewandten Mathematik.[1)]

OR bietet noch immer mehr Lösungen und Lösungsverfahren zur Behandlung von Idealproblemen und weniger von Realproblemen. Oft sucht man zu eleganten Lösungsverfahren irgendein zu lösendes Problem. Der Politiker benötigt aber Methoden für seine Probleme, und ihn interessieren nicht primär die Lösungswege, auf denen Ergebnisse erzielt werden.

Das Mißverhältnis zwischen den hochentwickelten Methoden und den anstehenden praktischen Problemen führt heute noch dazu, daß die dargelegten OR-Methoden im einzelnen für unser Problem nicht brauchbar sind. Dieses ist u.a. durch eine Vielzahl zu berücksichtigender Zielsetzungen gekennzeichnet. Da die bekannten OR-Verfahren nur eine Zielfunktion mit einem zu optimierenden Zielkriterium zulassen, sind sie nicht ohne weiteres anwendbar, zumal unsere Problemstellung neben der simultanen Maximierung mehrerer Zielgrößen zusätzlich eine Befriedigung gewisser Zielniveaus erforderlich macht.

Obwohl die OR-Methoden einzeln für die Lösung des Gesamtproblems nicht verwendbar sind, so ist dennoch die Methodik des OR geeignet, um systematisch an die Problemlösung heranzugehen. Ein erster Schritt zur Verringerung der Distanz zwischen Theorie und Praxis im OR ist also erreicht. Ferner haben wir bei der Untersuchung von einzelnen OR-Methoden Teilprobleme aufgezeigt, die ebenfalls mit Hilfe dieser Methoden gelöst werden können.

---

1) Siehe dazu: Weinberg, F., Operations Research im öffentlichen Dienst (Übersichtsvortrag), in: Proceedings in Operation Research 5, Würzburg-Wien 1976, S.421-429

B. Das Sollkonzept für die Investitionsplanung im Verkehrssektor. Erarbeitung von Anforderungen an den Planungsprozeß und die Methoden auf der Basis eines Problemkatalogs

In den vorausgegangenen Abschnitten wurde ausgehend von einer globalen Problembeschreibung eine Ist-Aufnahme des derzeitigen Standes der Investitionsplanung in der Verkehrspolitik vorgenommen, und die derzeitig verfügbaren Planungsmethoden wurden im Hinblick auf ihre Leistungsfähigkeit untersucht. Nach dieser problemadäquaten Ist-Aufnahme wird im folgenden Teil dieser Untersuchung der Ist-Zustand weiter analysiert und ein Sollkonzept für die Investitionsplanung erarbeitet. Die bisherige Untersuchung führte zu der Erkenntnis, daß das komplexe Entscheidungsproblem, wie es sich in der Verkehrspolitik darstellt, bisher nur sehr unzureichend gelöst wird. Die Planungsprobleme sollen in einem Problemkatalog herausgearbeitet und analysiert werden. Eine wesentliche Verbesserung der Investitionsplanung im Verkehrswesen kann nur dann erreicht werden, wenn es gelingt, diesen Problemkatalog in allen wichtigen Punkten zu bewältigen. Die Sollvorstellung lautet also: Bewältigung des Problemkatalogs.

Der Problemkatalog soll in die folgenden Problembereiche gegliedert werden:

- die Einordnung der Verkehrspolitik in die Gesamtpolitik
- Die Erarbeitung eines Zielsystems und dessen Operationalisierung (Planungsziele)
- die Erfassung des komplexen Verkehrssystems (Planungsgegenstand)
- das Auffinden, Erstellen und Benutzen geeigneter Planungsmethoden und -hilfsmittel
- die problemgerechte Durchführung und Kontrolle der Planung

Es wird versucht, die Probleme getrennt zu diskutieren je nachdem, ob sie typisch für die Investitionsplanung im Verkehrssektor sind oder aber mehr allgemein, d.h. unabhängig vom Planungsobjekt.

I. Die Einordnung der Verkehrspolitik in die Gesamtpolitik

Verkehrspolitik darf nicht für sich selbst betrieben werden, sondern sie muß in die Gesamtpolitik eingeordnet werden und z.B. die Belange der Raumordnung und der Regionalpolitik mit berücksichtigen. Eine Klärung zentraler Begriffe (z.B. Allgemeinwohl, Freiheit des Individuums) und deren inhaltliches Auffüllen ist notwendig für die Beantwortung der Frage, inwieweit das Verkehrswesen sich nach marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten im Rahmen der freien Wirtschaft selbst regeln soll, oder welche Lenkungsmaßnahmen hier vor allem durch eine gezielte Investitionsplanung ergriffen werden sollen. Auf Grund politischer Gesamtziele wird der Politiker entscheiden, inwieweit Wettbewerb in einigen Bereichen des Verkehrs wünschenswert ist, oder ob monopolistische Organisationsformen geschaffen werden sollen. Da politisches Handeln sehr stark von irrationalen, unbewußten und unberechenbaren Momenten geprägt ist, gilt es, die Vielfalt der Determinanten der politischen Willensbildung bewußt zu machen und daraus ein Zielsystem zu erarbeiten, das Klarheit schafft. Ferner sind politische Entscheidungen bisher wenig transparent, und es gilt, die Transparenz für den politischen Entscheidungsprozeß zu erhöhen. Demokratische Parteien und Regierungen verfassen ihre Programme und treffen ihre Entscheidungen, um die Macht zu behalten bzw. um Wähler zu gewinnen. Die Vielzahl politischer Entscheidungsträger erfordert eine koordinierte, integrierte und in sich konsistente Gesamtplanung für alle Bereiche. Dies kann nur durch bessere Organisation und Strukturierung sowie exakte Festlegung der Kompetenzen und Zuständigkeiten der planenden Instanzen erreicht werden.

Weitere verkehrsspezifische Fragen, die nur vom Politiker beantwortet werden können, sind z.B. folgende:

- Soll der Massenverkehr gegenüber dem Individualverkehr bevorzugt gefördert werden?
- Gilt für die Verkehrsleistungsanbieter das Prinzip der Eigenwirtschaftlichkeit bzw. Kostendeckung?

- Wie sollen anfallende Kosten verteilt werden?
- Wer oder was soll bezuschußt werden?

Die Beantwortung dieser verkehrsspezifischen Fragen durch den Verkehrspolitiker ist jedoch nur möglich, wenn gesamtgesellschaftlich geklärt ist, welche Stellung der Sektor Verkehr gegenüber anderen Sektoren z.B. Bildung, Wissenschaft, Soziales, Verteidigung einnimmt. Diese Klärung kann nur auf der Basis des Zielsystems für die Gesamtpolitik herbeigeführt werden, denn zunächst ist das Verkehrswesen ein Mittel, um bestimmte gesamtgesellschaftliche Ziele zu erreichen. Es muß also eine Einordnung des Verkehrssektors in die Gesamtgesellschaft vorgenommen werden, um zunächst ganzheitliche Betrachtungen zu ermöglichen. Dieser übergeordnete Planungsrahmen bietet dann auch bessere Möglichkeiten für die Beurteilung verkehrsspezifischer Maßnahmen und zwar im Hinblick auf die der Verkehrspolitik übergeordnete Gesamtpolitik. Eine solche Vorgehensweise ist erforderlich für eine politische und finanzielle Absicherung verkehrsspezifischer Projekte an Hand von Gesichtspunkten, die über das Verkehrswesen hinausgehen. Nur so kann die Gefahr beseitigt werden, daß neue Verkehrsinvestitionen nur durch bereits getätigte oder andere unterlassene Verkehrsinvestitionen begründet werden.

II. Die Erarbeitung eines Zielsystems für die Verkehrspolitik

1. Das Zielsystem als theoretisches Problem

Für eine optimale Investitionsplanung in der Verkehrspolitik muß Klarheit herrschen über die Ziele und Aufgaben, die speziell das Verkehrssystem in unserer Gesellschaft erfüllen muß. Ein solches Zielsystem ist die Grundlage für die zu erstellenden investitionspolitischen Entscheidungshilfen, denn wenn die Ziele und Aufgaben des Verkehrssystems festliegen, bedeutet optimale Investitionsplanung im Verkehrswesen die Planung eines Verkehrssystems, das seinen Zielen und Aufgaben in bestmöglicher Art und Weise gerecht wird. Zunächst sollen einige theoretische Betrachtungen zum Zielsystem vorangestellt werden.

a) Die Bedeutung des Zielsystems

Zur Bedeutung des Zielsystems stellt Hall[1] fest, daß es im Hinblick auf eine optimale Systemplanung am wichtigsten ist, die richtigen Ziele zu bestimmen. Werden falsche Ziele gewählt, löst man eine irrelevante Problemstellung; wählt man dagegen ein falsches System, so wählt man letztlich nur ein nicht optimales System. Heinen weist auf die Bedeutung des Zielsystems hin, indem er schreibt: "Die erforderlichen imperativischen Prämissen eines normativen Entscheidungsmodells stellen die vom Entscheidungsträger verfolgten Ziele dar."[2]

---

1) Hall, A.D., A Methodologie for Systems Engineering, Princeton 1962, S. 105

2) Heinen, E., Das Zielsystem der Unternehmung, Wiesbaden 1966, S. 51

Die Menge der Ziele muß alle handlungsbestimmenden Elemente enthalten.

Nach Zangenmeister weist ein Entscheidungsproblem besondere Schwierigkeiten auf,

"- wenn viele Ziele zu berücksichtigen sind,
- wenn unterschiedliche Zielmaße auftreten,
- wenn die Präferenzstruktur stark differenziert ist,
- wenn die Informationen mit Unsicherheiten behaftet sind,
- wenn Zeitabhängigkeiten eine Rolle spielen,
- wenn mehrere Personen bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden müssen,
- wenn kein eindeutiges Entscheidungskriterium existiert, sondern eine Synthese einer Vielfalt von Werten vorgenommen werden muß."[1)]

Investitionsentscheidungen im Verkehrssektor müssen mit diesen Schwierigkeiten fertig werden.

b) Begriffe

Das Zielsystem hat eine entscheidungslogische und eine praktische Bedeutung. "Das Zielsystem einer Organisation besteht aus der geordneten Menge aller handlungsbestimmenden Ziele, die bei der Ableitung einer rationalen Entscheidungsempfehlung zu berücksichtigen sind."[2)] "Ein Zielsystem ist situationsgerecht, wenn es vollständig ist, so daß keine wesentlichen Gesichtspunkte bei der Bewertung unberücksichtigt bleiben. Modellgerecht ist ein Zielsystem ..., wenn die bei der Bewertung einzeln zugrunde gelegten Ziele so definiert werden, daß die Annahme ihrer bedingten Nutzenunabhängigkeit

---

1) Zangenmeister, Ch., Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, 3. Aufl., München 1973, S. 36

2) Ebenda, S. 89

gerechtfertigt ist."[1] "Ziele sind notwendige Prämissen eines Entscheidungsmodells in Form von Aussagen imperativischen Charakters, aus denen sich die für die Bewertung von Alternativen relevanten Zielkriterien ergeben. Die Gesamtheit der Zielkriterien, die der Bewertung zugrunde gelegt werden, umfaßt die Menge aller derjenigen Ziele, die Endpunkte von Zielketten der Zielhierarchie sind. ... Ein Zielertrag repräsentiert einen Punkt auf der Skala des zugrunde liegenden Zielkontinuums."[2]

Nun geht es darum, sich Klarheit über die grundsätzlichen Beziehungen zwischen den Zielen zu verschaffen. Zielkonkurrenz besteht zwischen zwei Zielen Z_1 und Z_2, wenn ein Ertragszuwachs bezüglich Z_1 um $+\Delta Z_1$ einen Ertragsrückgang von Z_2 um $-\Delta Z_2$ bewirkt. Wir sprechen von Zielkomplementarität zwischen zwei Zielen Z_1 und Z_2, wenn ein Ertragszuwachs bezüglich Z_1 um $+\Delta Z_1$ gleichzeitig mit einem Ertragszuwachs bezüglich Z_2 um $+\Delta Z_2$ verbunden ist. Zielindifferenz liegt dann vor, wenn Änderungen in der Zielerfüllung von Z_1 im Hinblick auf die Zielerfüllung von Z_2 keine Auswirkungen haben. In diesem Falle sind Z_1 und Z_2 technologisch unabhängig.[3]

Strukturierung

Man unterscheidet grundsätzlich zwischen einer vertikalen und einer horizontalen Zielordnung. Folgende Aspekte bieten sich für eine vertikale Ordnung von Zielen im Sinn von Ober- und Unterzielen an:[4]

- Zweck-Mittel-Beziehungen
- Die Ebenen der Entscheidungshierarchie einer Organisation

---

1) Zangenmeister, Ch., a.a.O., S. 90
2) Ebenda, S. 92 f.
3) Ebenda, S. 95 ff.
4) Ebenda, S. 107 ff.

Die Ziele am Anfang einer mehrstufigen Zielkette von Ober- und Unterzielen sind in der Regel nur verbal formulierte, nicht direkt quantifizierbare Leitsätze. Die Ziele am Ende der mehrstufigen Zielkette sind dagegen meist schon Leitzahlen oder Leitindizes.

Im Rahmen eines Staates können die folgenden Zielebenen unterschieden werden. Diese Einteilung in verschiedene Ebenen bietet sich auch für unser Problem an:

- Nationale Ziele
- Regionale Ziele
- Unternehmensziele
- Betriebsziele
- Abteilungsziele
- Arbeitsgruppenziele
- Individuelle Tätigkeitsziele

Ein Beispiel für eine horizontale Zielordnung ist die Ordnung der Zielmenge nach den folgenden funktionalen Zielinhalten:

"- ökonomisch relevante Ziele

Marktziele
Wettbewerbsziele
Kostenziele
Gewinnziele
Liquiditätsziele etc.

- sozial relevante Ziele

Beschäftigungsziele
Versorgungsziele etc.

- technisch relevante Ziele

Qualitätsziele
Leistungsziele
Zuverlässigkeitsziele
Verfügbarkeitsziele
Kompatibilitätsziele etc."[1)]

---

1) Zangenmeister, Ch., a.a.O., S. 110

Projektziele

Zangenmeister bietet folgende Liste projektspezifischer Faktoren als Gerüst für eine Orientierung bei der praktischen Erarbeitung eines Zielsystems an. Da es sich bei Verkehrsinvestitionen fast immer um Projekte[1] handelt, erscheinen diese Faktoren für unsere Untersuchung geeignet.

"1. Ökonomische Faktoren:

- Gesamtkosten der Herstellung
- Betriebskosten
- Wirtschaftlichkeit

2. Leistungs-Faktoren:

- Gesamtleistung
- Komponentenleistungen
- Spezifikationsmerkmale
- Wirkungsgrade
- Qualitäts-Standards

3. System-Faktoren:

- Lebensdauer
- Verfügbarkeit
- Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit
- Kompatibilität
- Adaptibilität, Flexibilität
- Einfachheit
- Rechtzeitigkeit"[2]

---

1) "Ein Projekt ist ein begrenztes Tätigkeitsvorhaben innerhalb eines Programms zur Erreichung eines bestimmten Projektzwecks. Der Projektzweck ist im zugehörigen Zielprogramm durch projektorientierte spezielle Programmziele beschrieben." Diese Definition findet man bei Zangenmeister, Ch., a.a.O., S. 115

2) Ebenda, S. 141

c) Zu beachtende Grundregeln bei der Erstellung eines Zielsystems

Eine systematische Zielsuche wird in konkreten Entscheidungssituationen erleichtert, wenn man dabei folgende Grundsätze beachtet[1]:

- Das Zielsystem muß in Teamarbeit erstellt werden, wobei alle wichtigen Bereiche vertreten sein müssen und zusätzliche externe Berater hinzugezogen werden.
- Die Zielfindung ist ein kreativer Prozeß.
- Die Zielvorstellungen sind auf ihre Realisierbarkeit hin zu überprüfen.
- Die Ziele sollten exakt und eindeutig formuliert werden.
- Erst nach Erstellung eines ungeordneten Zielkataloges soll eine hierarchische Struktur eingeführt werden.
- Die Zielketten vereinfachen die Konkretisierung von Zielen.
- Das Zielsystem muß konsistent sein.
- Die zugrunde gelegten Ziele sollten operational überprüfbar sein.
- Die Ziele müssen nutzenunabhängig sein.
- Zielkonflikte müssen soweit als möglich vermieden werden, was durch Elimination von sich gegenseitig ausschließenden Zielen erreicht werden kann.
- Zweckmäßigkeit sowie Vollständigkeit der anzustrebenden Zielinhalte sind unbedingt erforderlich, wenn ein Zielsystem situationsgerecht sein soll.

---

1) Vgl. Zangenmeister, Ch., a.a.O., S. 136 ff. und die dort zitierten Werke:
Fishburn, P.C., Decision and Value Theory, New York 1964
Hall, A.D., a.a.O.
Hitch, J., McKean, R.N., The Economics of Defense in the Nuclear Age, Cambridge 1967

Bei Zielsystemen, die gesamtgesellschaftliche Betrachtungen enthalten, muß wegen des hohen Verflechtungsgrades der Ziele (Zielkonkurrenz, Zielkomplementarität) untereinander neben der systemtheoretischen Betrachtungsweise eines Zielsystems auch dessen wirtschaftspolitischer Hintergrund berücksichtigt werden. In der verkehrspolitischen Praxis müssen immer mehrere Ziele gleichzeitig verfolgt werden. Aus diesem Grunde kann sehr oft ein Ziel nicht voll verwirklicht werden, denn es kollidiert mit anderen Zielen oder Interessen.[1)]

Nach Gäfgen[2)] sind wirtschaftspolitische Ziele Maßstäbe zur Beurteilung der Erwünschtheit von Zuständen, die durch wirtschaftspolitisches Handeln herbeigeführt werden. "Wenn sich diese Maßstäbe beim Vergleich der Zustände widersprechen, also nach dem einen Maßstab der eine Zustand als besser, nach einem weiteren Maßstab dagegen der andere Zustand als besser gilt"[3)], liegt ein wirtschaftspolitischer Zielkonflikt vor.[4)]

2. Spezielle Anforderungen an ein Zielsystem für die Verkehrspolitik

Die bisherige Investitionsplanung in der Verkehrspolitik orientiert sich zu sehr am Verkehr selbst, vor allem an der Verkehrsnachfrage. Auf Grund statistisch begründeter Trendanalysen des vermuteten Verkehrsaufkommens werden Kpazitätserweiterungen vorgenommen. Die Folge ist eine oft schlechte

---

1) Siehe dazu: Knips, W., Die Problematik wirtschaftspolitischer Zielkonflikte, Tübingen 1970

2) Gäfgen, G., Wissenschaftliche und ethische Methodenfragen des Zielkonflikts in der Wirtschaftspolitik, in: Katholisch-soziales Institut der Erzdiözese Köln (Hrsg.), Wirtschaftspolitischer Zielkonflikt und katholische Soziallehre, Köln 1968, S. 11

3) Ebenda, S. 14

4) Zur Pluralität der Zielmaßstäbe siehe auch: Tinbergen, J., Centralisation and Decentralisation in Economic Policy, Amsterdam 1954

Ausnutzung der Kapazitäten. Wenn andere Aspekte berücksichtigt werden, so sind diese meist betriebswirtschaftlicher Art, ohne besondere Berücksichtigung der volkswirtschaftlichen Gestaltungskraft des Verkehrssystems und der gesamtwirtschaftlichen Situation. Die Steigerung des wirtschaftlichen Wachstums ist einziges großes Planungsziel. Eine koordinierte Gesamtplanung fehlt, da keine klare, langfristige gesamtgesellschaftliche Zielsetzung besteht. Es existieren Normenprogramme (Prinzipien mehr allgemeiner Art) für die öffentlichen Planungsinstitutionen wie

- der Bundesverkehrswegeplan
- das Umweltprogramm der Bundesregierung
- das Bundesraumordnungsprogramm.

Eine solche schwerpunktmäßige Planung ist bisher noch nicht in größere Zusammenhänge eingebettet. So sind z.B. im Verkehrsbericht 1970 der Bundesregierung die Ziele formuliert, nach denen die Bundesverkehrswegeplanung vorgenommen werden soll. Als Leitlinie gilt der Satz: "Der Verkehrssektor soll einen größtmöglichen Beitrag zum allgemeinen Wohl leisten."[1] Diese Ziel wird in die folgenden Einzelziele aufgelöst, die die Verkehrspolitik berücksichtigen muß:

"- Der Freiheitsspielraum des einzelnen muß gesichert werden und ihm die Wahl des Verkehrsmittels nach Art und Qualität überlassen bleiben.

- Der Neu- und Ausbau von Verkehrswegen muß einen größtmöglichen Beitrag zum Wirtschaftswachstum erbringen.

- Die Verkehrsplanung muß Gesichtspunkte der Raumordnung berücksichtigen: gesunde Lebens- und Arbeitsbedingungen, ausgewogene wirtschaftliche, soziale und kulturelle Verhältnisse in allen Teilen des Bundesgebietes.

- Die qualitative Leistungsfähigkeit der Verkehrsmittel ist zu steigern.

---

1) Verkehrsbericht 1970, S. 62

- Die negativen Folgen der Störanfälligkeit der Verkehrsnetze für die Wirtschaftstätigkeit und die Versorgung der Bevölkerung sind durch Planung ausreichender Ausweichmöglichkeiten in Grenzen zu halten.
- Jede Einzelmaßnahme ist bei gleicher Erfolgschance mit dem geringstmöglichen Mitteleinsatz durchzuführen.
- Die Ziele der europäischen Integration und der internationalen Zusammenarbeit sind bei der Gestaltung der Verkehrsinfrastruktur zu berücksichtigen. Weiteren außen- sowie verteidigungspolitischen Zielsetzungen ist bei der Planung gegebenenfalls Rechnung zu tragen.
- Bei Investitionsentscheidungen sind auch verkehrsfremde Funktionen zu berücksichtigen."[1)]

Der eben dargelegte Zielkatalog spiegelt die gesamte Konfliktsituation wieder, in der sich die praktische Verkehrspolitik befindet. Es kommt auch hier zur Formulierung eines einheitlichen, allumfassenden Gesamtzieles, auf welches alle Investitionsentscheidungen ausgerichtet werden sollen.[2)] Das Vorliegen eines solchen einzigen Grundzieles, auf das alle Zielvorstellungen hin ausgerichtet werden sollen, erweckt den Eindruck, als ob politische Entscheidungen einfach durch Zusammenfügen von Teilzielen zu einem einheitlichen Ganzen getroffen werden könnten. Der vorliegende Zielkatalog verschleiert die Problematik der politischen Zielkonflikte bei der Investitionsplanung und ist für die praktische Politik ungeeignet. Die unterschiedlichen politischen Auffassungen und wirtschaftlichen Interessen innerhalb unserer Gesellschaft führen zu Zielkonflikten. Auf der Basis bekannter bestehender gesamtgesellschaftlicher und verkehrsspezifischer Zielsetzungen muß es gelingen, einen Planungsansatz für den Verkehrssektor zu entwerfen. Das Endergebnis der Bemühungen

---

1) Verkehrsbericht 1970, S. 62

2) Siehe dazu: Krüger, R., Das wirtschaftspolitische Instrumentarium, Berlin 1967, S. 35 ff.

muß ein zielbezogenes Verkehrsmodell sein, das unter Zugrundelegung der Wirkungszusammenhänge innerhalb des Verkehrssektors und seiner Verflechtung mit anderen Teilbereichen erlaubt, die angestrebten verkehrsspezifischen Zielsetzungen im Hinblick auf ihre Verträglichkeit untereinander und mit den übergeordneten gesamtgesellschaftlichen Zielen zu überprüfen.[1] Es ist zu prüfen, ob die im Verkehrsbericht 1970 genannten Ziele so formuliert und ergänzt werden können, daß sie bei einer Investitionsplanung mit modernen Methoden in der Praxis verwendet werden können.

Die Ziele der Bundesverkehrswegeplanung, die sich in folgende Zielbereiche gliedern:

"- Sicherung des Freiheitsspielraumes
- Verbesserung der Wirtschaftlichkeit
- Qualitative Verbesserung der Verkehrsleistung
- Hebung der Verkehrssicherheit
- Berücksichtigung verkehrsfremder Funktionen
- Erhaltung und Verbesserung einer lebensfreundlichen Umwelt und Gesundheitsschutz sowie Förderung von Naturschutz und Landschaftspflege
- Berücksichtigung von Zielen und Grundsätzen der Raumordnung, des Städtebaus und der Stadtentwicklung
- Förderung des Wirtschaftswachstums
- Berücksichtigung internationaler Verflechtungen"[2],

sind noch in Einzelziele unterteilt, die aber hier nicht alle genannt werden sollen. Es gibt also bereits eine horizontale Ordnung der Menge der Ziele nach funktionalen Zielinhalten.[3]

---

1) Deutscher Bundestag, 7. Wahlperiode, Drucksache 7/1045, Unterrichtung durch die Bundesregierung, Bundesverkehrswegeplan 1. Stufe, Bonn 1973, S. 31 f.

2) Ebenda, S. 30

3) Vgl. Zangenmeister, Ch., Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, 3. Aufl., München 1973, S. 109 f.

Bei dem angegebenen Zielsystem wurde die Sicherung des Freiheitsspielraumes als gemeinsames übergeordnetes Ziel angesehen, wobei als Teilziele die freie Wahl

"- des Wohn- und Standortes
- der Produktions-, Arbeits- bzw. Ausbildungsstätte
- der Einkaufsstätte
- des Erholungsraumes
- des Verkehrsmittels
- des Fahrtzeitpunktes
- der Fahrthäufigkeit"[1)]

genannt werden. Das Verkehrssystem leistet also nach dieser Auffassung durch seinen Beitrag zur freien Entfaltung der Persönlichkeit, die hier als das höchste Gut angesehen wird, den größtmöglichen Beitrag zum allgemeinen Wohl[2)], das hier als die Summe aus dem Wohlbefinden der Individuen gesehen wird. Die Einschränkung - "Der Freiheitsspielraum des einzelnen findet seine Grenze dort, wo die Rechte der Mitmenschen oder das Wohl der Allgemeinheit entgegenstehen."[3)] - macht deutlich, daß durch das oben angegebene Oberziel wohl einer der größtmöglichen Zielkonflikte heraufbeschworen wird, wenn man das Individuum Mensch in der oben angegebenen Weise so direkt in den Vordergrund stellt und der Sicherung seines Freiheitsspielraumes eine so hohe Rangordnung in der Zielhierarchie einräumt. Dies wurde erkannt, und man gab dem öffentlichen Personennahverkehr zeitweise den Vorrang vor dem Individualverkehr, was zwangsläufig eine stärkere Ausrichtung der Investitionspolitik auf die öffentlichen Einrichtungen des Verkehrssystems bewirkte.[4)]

Gerade die Gegenwart zeigt, daß einer an sich sehr wünschenswerten vollständigen Verwirklichung der Persönlichkeit von der Natur sehr enge Grenzen gesetzt sind. Wenn vom Politi-

---

1) Deutscher Bundestag, a.a.O., S. 30

2) Verkehrsbericht 1970, a.a.O., S. 62

3) Deutscher Bundestag, a.a.O., S. 30

4) Siehe dazu: Der Bundesminister für Verkehr (Hrsg.), Der Mensch hat Vorfahrt, a.a.O., S. 10 ff.

ker, bedingt durch die Energiekrise, Sonntagsfahrverbote, Benzinrationierung, Geschwindigkeitsbeschränkungen und viele weitere Maßnahmen verhängt werden müssen, kann die Sicherung des Freiheitsspielraumes nicht mehr allgemeine Leitlinie sein. Wenn der freie Mensch ob seiner Freizügigkeit heute dazu in der Lage ist, seine eigene Umwelt und die seines Mitmenschen in einen für ein menschenwürdiges Dasein unerträglichen Zustand zu bringen, muß hier ein anderes Oberziel die Investitionsplanung bestimmen. Hier muß zunächst unabhängig von speziellen Problemen, die den Verkehrssektor betreffen, aber im Hinblick auf das Zielsystem für die gesamten politischen Entscheidungen die Frage beantwortet werden, wie - bedingt durch die Natur, die Zahl der Menschen und den derzeitigen Stand der Technik und Wissenschaft - eine Umwelt aussehen müßte, die einen für jeden unbedingt notwendigen Freiheitsspielraum ermöglicht und damit die wünschenswerte Lebensqualität gewährleistet. Erst nach dieser grundsätzlichen Untersuchung kann die Frage beantwortet werden, wie ein Verkehrssystem aussehen muß, das die Qualität des Lebens nicht nur unbeeinträchtigt läßt, sondern sogar durch seine Leistung noch wesentlich verbessert.

Das Zielsystem für die Investitionsplanung muß als Teilziele die Anforderungen an das Verkehrssystem und seine Funktion, nämlich die Ortsveränderung von Personen, Gütern, Informationen und Energie zu ermöglichen, enthalten. Diese globale Zielsetzung ist für die betrachteten Investitionsalternativen durch eindeutige Angaben über die Eigenschaften der relevanten Systemkomponenten und deren Verhalten im Zeitablauf zu spezifizieren und zu konkretisieren.

Bei allen Zielen des Zielsystems sollte auch Klarheit herrschen über die Motivation, die zu diesem Zielsystem geführt hat.

Insgesamt sollte ein Zielsystem für die Verkehrspolitik die Antwort auf die Fragen liefern, was zu welchem Zeitpunkt in welchem Planungsraum und aus welchen Gründen erreicht werden soll.

Zur Bewältigung des Problems der Erstellung des Zielsystems können die OR-Methoden und die EDV nichts beitragen. Für den Einsatz von OR und EDV ist das Vorhandensein eines problemgerechten Zielsystems eine wichtige Voraussetzung.

III. Die Operationalisierung (Quantifizierung) des Zielsystems

1. Globale Anforderungen

Wenn ein Zielsystem gemäß den formalen Ansprüchen formuliert ist, kann es nur eine praktische Bedeutung erlangen, wenn dieses Zielsystem auch operabel gemacht werden kann. Dazu muß nicht nur gefordert werden, daß die Ziele innerhalb des Zielsystems kompatibel sind und daß innerhalb eines Zielsystems höchstens eine teilweise Konkurrenz zwischen den Zielen bestehen darf, sondern hier sind weitere Schritte erforderlich. Die Operationalisierung ist nur möglich, wenn es gelingt, die Ziele durch solche Größen auszudrücken, die quantitativ meßbar sind, beziehungsweise die Ziele durch quantifizierbare und qualifizierbare Indikatoren zu ersetzen. Eine weitergehende Behandlung mit mathematischen Methoden, z.B. durch die Aufstellung einer Zielfunktion und deren Optimierung, ist sonst nicht möglich. Dies ist die nächste schwierige Aufgabe, die gelöst sein muß, bevor OR und EDV als weitere Hilfsmittel bei der Investitionsplanung in der Verkehrspolitik eingesetzt werden können. Der Computer kann Daten (Zahlen) verarbeiten, jedoch keine Optimierung nach verbal vorliegenden Zielen und Restriktionen vornehmen.
Wenn es lediglich gelingt, Teilziele zu quantifizieren, so bietet dies noch keine Gewähr dafür, daß es auch möglich ist, diese Teilziele zu einem Gesamtziel zu subsummieren. Ferner bereitet die Erstellung einer Prioritätenfolge für die Teilziele untereinander noch erhebliche Schwierigkeiten.

Die Ziele sollten soweit konkretisierbar sein, daß man die Aufwendungen für die betrachteten Investitionsalternativen in Beziehung zu dem Wert des Zieles oder Teilzieles setzen kann. Es muß möglich sein, durch quantitative Methoden den erhofften Erfolg einer bestimmten Maßnahme bzw. den

Nutzwert zu bestimmen unter besonderer Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit für das Eintreffen des erwarteten Erfolges (Risikoabschätzung). Erst wenn die Ziele konkret genug sind, um Analysen durchzuführen, können sie eine Basis für die Bewertung und Ordnung der betrachteten Investitionsalternativen sein.

Die Ziele müssen so konkret sein, daß es möglich ist, den Grad der Zielerreichung (Nutzwert) festzustellen, den erforderlichen Aufwand für die Zielerreichung zu ermitteln, den Zeitpunkt für die Zielerreichung festzulegen, das der Entscheidungsalternative anhaftende Risiko zu ermitteln und die Reaktion der Öffentlichkeit auf die betrachtete Alternative abzuschätzen. Die vergleichende Bewertung einer Kombination aus den obigen Kriterien oder anderen für jede Investitionsalternative führt dann letztlich zur Auswahlentscheidung.

Zur Quantifizierung der Ziele der Investitionsplanung muß zunächst der entscheidungsbestimmende Einflußbereich von Verkehrsinvestitionen festgelegt werden. Es erscheint sinnvoll, die Auswirkungen von Verkehrsinvestitionen auf die Leistung des Verkehrssystems hier als Bezugsgröße zu wählen, da die Verkehrsinvestitionen der Produktion bzw. der Verbesserung der Verkehrsleistung dienen sollen.

2. Die Leistung des Verkehrssystems als Bewertungskriterium

Von dem Verkehrssystem wird eine bestimmte Leistung erbracht, wir nennen sie Verkehrsleistung. Diese Verkehrsleistung definieren wir als das vom Verkehrssystem durch Verkehrsvorgänge hervorgebrachte wirtschaftliche Gut.[1)]

---

1) Vgl. Voigt, F., Verkehr, Erster Band, Erste Hälfte, Berlin 1973, S.35

Die technischen Aspekte der Verkehrsleistung wurden von Ingenieuren weitgehend untersucht und dargestellt.[1] Da es sich hierbei meistens um technisch-physikalische Betrachtungen der Bewegungsvorgänge handelt, für die eindeutige physikalische Maßgrößen festliegen, bringt die Berücksichtigung technischer Aspekte in diesem Zusammenhang keine besonderen Probleme mit sich.

Sehr viel schwieriger ist die Berücksichtigung der ökonomischen Aspekte. Es ist vor allem das Verdienst von Voigt[2], daß die ökonomischen Zusammenhänge der Verkehrswirtschaft und die Einbettung dieses Wirtschaftszweiges in die Gesamtwirtschaft klar herausgearbeitet wurden. In theoretischen Analysen ist es ihm gelungen,

---

1) Siehe dazu: Beiträge zur Theorie des Verkehrsflusses - Referate anläßlich des IV. Internationalen Symposiums über die Theorie des Verkehrsflusses, Karlsruhe 1968, in: Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Schriftenreihe des Bundesministers für Verkehr, Heft 86, Bonn 1969

Jacobs, F., Untersuchungen zur stochastischen Theorie des Verkehrsablaufs auf Straßen, in: Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Schriftenreihe des Bundesministers für Verkehr, Heft 96, Bonn 1970

Köhler, U., Stabilitätsuntersuchungen einiger deterministischer Fahrzeugfolgegleichungen, Karlsruhe 1972

Lenz, K.H., Garsky, J., Anwendung mathematisch-statistischer Verfahren in der Straßenverkehrstechnik, Bad Godesberg 1968

Leutzbach, W., Einführung in die Theorie des Verkehrsflusses, Berlin-Heidelberg-New York 1972

Potthoff, G., Die Bedienungstheorie im Verkehrswesen, Berlin 1965
Potthoff, G., Verkehrsströmungslehre, 3 Bände, Berlin 1962/63/65
Ribbeck, K., a.a.O.

Wiedemann, R., Verkehrsablauf hinter Lichtsignalen, in: Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Schriftenreihe des Bundesministers für Verkehr, Heft 74, Bonn 1968

2) Voigt, F., Die volkswirtschaftliche Bedeutung des Verkehrssystems, Berlin 1960

Voigt, F., Verkehr, Erster Band, Erste Hälfte, Berlin 1973

Forts.d.Anm.S.108:

die bedeutende Stellung der Verkehrsleistung im Systemzusammenhang der Volkswirtschaft zu untersuchen und die Einwirkung des Verkehrssystems auf wirtschaftliche Entwicklungsprozesse darzustellen. Er spricht von der volkswirtschaftlichen Gestaltungskraft des Verkehrssystems und versteht darunter "... die Fähigkeit, von einer bestimmten Ausgangslage aus die bestehende Struktur der Wirtschaft umzugestalten und damit Entwicklungsprozesse auszulösen oder laufende Entwicklungsprozesse umzuformen".[1] In seiner wissenschaftlichen Diskussion wird immer wieder die Frage gestellt, wie man die Leistung des Verkehrssystems durch ein geeignetes Werkzeug erfassen kann.

3. Das Begriffspaar Verkehrswertigkeit und Affinität und seine Quantifizierung

Zur Erfassung der Leistung des Verkehrssystems hat Voigt[2] die beiden Begriffe Verkehrswertigkeit und Affinität geprägt. Unter Verkehrswertigkeit versteht Voigt einen Maßstab für die Qualität von Verkehrsvorgängen.[3][4] Die sieben folgenden Qualitätsmerkmale liegen seiner Untersuchung zugrunde:

Fortsetzung der Fußnote 2) von S.107:

Voigt, F., Theorie der regionalen Verkehrsplanung, Berlin 1964

Voigt, F., Verkehr und Industrialisierung, in: Zeitschrift für die ges.Staatswissenschaft, Bd.109 (1953), S.198 ff.

1) Voigt, F., Die volkswirtschaftliche Bedeutung des Verkehrssystems, Berlin 1960, S.42

2) Voigt, F., Verkehr und Industrialisierung..a.a.O., S.198 ff.

3) Voigt benutzt anstelle des hier verwendeten Begriffs 'Verkehrsvorgänge' den Begriff 'Verkehrsleistungen'.

4) Vgl. Voigt, F., Verkehr, Erster Band, Erste Hälfte, 1973, S.71

- Massenleistungsfähigkeit
- Schnelligkeit
- Fähigkeit zur Netzbildung
- Berechenbarkeit
- Häufigkeit der Verkehrsbedienung
- Sicherheit
- Bequemlichkeit [1]

Unter Verkehrsaffinität versteht Voigt die Anforderungen an die verschiedenen Dimensionen der Qualität von Verkehrsvorgängen für eine Raumüberwindung von Gütern, Personen und Nachrichten.[2] Hier werden, korrespondierend zur Verkehrswertigkeit, die Anforderungen an die sieben Qualitätsmerkmale betrachtet.

Voigt stellt also die Verkehrswertigkeit als Ausdruck eines Komplexes objektiver Qualitäten von Verkehrsvorgängen der Affinität als einen Komplex von Anforderungen an die Qualität von Verkehrsvorgängen gegenüber.[3] Die beiden Begriffe werden zur Erklärung einer Reihe von ökonomischen Prozessen im Zusammenhang mit dem Verkehrssystem immer wieder verwendet. Auf eine ausführliche Darstellung dieses Begriffssystems wird hier verzichtet und verwiesen auf Klatt[4] und Voigt[5].

Die Tatsache, daß die eben genannten Begriffe praktisch kaum verwendbar sind, soll durch folgende Zitate verdeutlicht werden:
"Die Zahl der Standorte ist abhängig vom Verhältnis der verschiedenen Ebenen der Affinität zu den entsprechenden Ebenen der Verkehrswertigkeit."[6]

---

1) Voigt, F., Verkehr, Erster Band, Erste Hälfte, 1973 S.73
2) Ebenda, S.108
3) Ebenda, S.137
4) Klatt, S., Die ökonomische Bedeutung der Qualität von Verkehrsleistungen, Berlin 1965, S.31 f. und S.55 ff.
5) Voigt, F., Verkehr, Erster Band, Berlin 1973
6) Voigt, F., Verkehr, Erster Band, Zweite Hälfte, Berlin 1973, S.648

"Die Intensität der volkswirtschaftlichen Gestaltungskraft des Verkehrssystems ist eine Funktion der verschiedenen Ebenen der Verkehrswertigkeit im Zusammenspiel mit den entsprechenden Ebenen der Affinität der Transportgüter."[1)]

Bevor die wissenschaftlichen Erkenntnisse von Voigt vom Praktiker bei wichtigen Entscheidungen Berücksichtigung finden können, muß es gelingen, diese Erkenntnisse der Behandlung mit mathematischen Methoden zugänglich zu machen, denn die bisherigen Untersuchungsergebnisse über die Qualität der Verkehrsleistung sind mehr theoretischer Art als praktikabel. Bisher gut gelungen ist die Charakterisierung der Qualität von Verkehrsvorgängen durch Kataloge von wichtigen Merkmalen. So benutzt z.B. Voigt die eben genannten sieben Merkmale zur Charakterisierung der Verkehrswertigkeit und Affinität.

Klatt stellt den folgenden wesentlich umfassenderen Merkmalskatalog von Eigenschaften der Verkehrsvorgänge (von ihm Verkehrsleistungen genannt) zusammen:

"Allbenutzbarkeit
Allgegenwart
Angemessenheit
Annehmlichkeit
Anpassungsfähigkeit
Ausdehnungsfähigkeit
Ausdehnungsmöglichkeit
Benutzungsvielseitigkeit
Bequemlichkeit
Berechenbarkeit
Bestimmtheit
Beweglichkeit
Billigkeit
Disponibilität örtlich / zeitlich
Fahrplanmäßigkeit
Freibeweglichkeit
Gebrochenheit
Geeignetheit
Häufigkeit
Leichtigkeit der Massenbewegung
Massenhaftigkeit
Massenleistungsfähigkeit
x Pfleglichkeit
Planmäßigkeit
Präzision
Pünktlichkeit
Regelmäßigkeit
Schnelligkeit

---

1) Voigt, F., Die volkswirtschaftliche Bedeutung des Verkehrssystems, a.a.O., S.42

x Naturabhängigkeit

Sicherheit	Wohlfeilheit
Verzweigungsfähigkeit	Zugänglichkeit
Verzweigungsmöglichkeit	Zuverlässigkeit
Vielseitigkeit	Zweckmäßigkeit" [1]
Vollständigkeit	

Ferner wurden Wesen, ökonomische Wirkungen und Bedeutung der Qualität von Verkehrsvorgängen klar erkannt und herausgearbeitet. Weniger gut gelungen ist die Erarbeitung einer Vergleichsmöglichkeit von verschiedenen Verkehrsvorgängen. Ein Gesamtmaßstab für die ökonomischen Aspekte der Verkehrsvorgänge wurde bisher noch nicht gefunden. Ansätze hierfür sind allerdings vorhanden.[2] Gänzlich fehlt jedoch noch die Möglichkeit, die Ergebnisse der theoretischen Überlegungen verkehrspolitisch auszuwerten und in der Praxis bei verkehrspolitischen Entscheidungen zu berücksichtigen. Ein Grund dafür ist die Tatsache, daß Voigt nur die natürliche Sprache und keine formale Sprache verwendet. Ohne irgendeine Art der Formalisierung ist hier ein Fortschritt kaum zu erzielen. Das weitere Interesse muß sich darauf richten, dies zu ermöglichen, indem die vorhandene Theorie operabel gemacht wird. Es geht hier weniger um eine Diskussion über die Vollständigkeit bzw. um die Vervollständigung von Merkmalskatalogen zur Charakterisierung der Verkehrsvorgänge. Diese ist bei dem obigen Katalog mit Sicherheit nicht gegeben, denn man kann heute nicht die Qualität von Verkehrsvorgängen untersuchen, ohne dabei Auswirkungen auf die Umwelt zu berücksichtigen und ohne dem immer deutlicher spürbar werdenden Mangel an Energie Rechnung zu tragen. Eine vollständige, allumfassende Merkmalskombination kann nur von einem interdisziplinären Forschungsteam erstellt werden.

---

1) Klatt, S., Die ökonomische Bedeutung der Qualität von Verkehrsleistungen, Berlin 1965, S.27

2) Siehe dazu: Engelmann, H., Ansätze für die Bestimmung der Verkehrswertigkeit, in: DDR-Verkehr 11, 1970, S.456-459

Ein solches Team sollte zusammengesetzt sein aus Fachspezialisten für das Verkehrssystem unter Beteiligung von Politikern, Verwaltungswissenschaftlern und Staatsrechtlern, aus technologischen Spezialisten, die alle im System auftretenden technischen Probleme lösen können, aus Wirtschaftswissenschaftlern und Systemanalytikern, die in Systemtheorie Erfahrung besitzen. Ferner sollten die Erkenntnisse der modernen Medizin und Psychologie durch die Beteiligung entsprechender Wissenschaftler in einem solchen Team berücksichtigt werden.

Es muß gelingen, zunächst in einem theoretischen Modell einen solchen Bewertungsmaßstab für die Leistungen des Verkehrssystems zu erarbeiten, der in der verkehrspolitischen Praxis mit Hilfe mathematischer Methoden sinnvoll verwendet werden kann. Hierzu muß aus der Sicht dieser Untersuchung eine exakte Abgrenzung vorgenommen werden, die klarstellt, welche Leistungsmerkmale welchen Systemkomponenten des Verkehrssystems zugeordnet werden müssen. Die Tatsache, daß dies weder von Voigt noch von Klatt durchgeführt wurde, zeigt, wie wenig die systemanalytische Denkweise hier bisher beachtet wurde, was sich sowohl auf die Anerkennung als auch besonders auf den unmittelbaren praktischen Wert der wissenschaftlichen Erkenntnisse dieser Untersuchungen nachteilig ausgewirkt hat.
Gerade die Systemtechnik ermöglicht es, gleichermaßen technische, organisatorische, soziale und politische Aspekte zu berücksichtigen, was mit den bisherigen Methoden nicht möglich war. Deshalb ist die Notwendigkeit, ökonomische Probleme mit Hilfe geeigneter systemanalytischer Methoden und Verfahren zu lösen oder die Lösung zu beschleunigen, heute unbestritten.[1] Da eine optimale Investitionsplanung Fakten und Zahlen erfordert, muß hier zwangsläufig der Blick auf wissenschaftlich-quantitative Methoden ausgerichtet werden.

---

1) Vgl. Richter, K.J., Transportökonometrie, Berlin 1966, S.11

IV. Die Erfassung des bestehenden Verkehrssystems

Eine bessere Verkehrsinvestitionsplanung kann ferner nur erreicht werden, wenn es gelingt, das Verkehrssystem in seiner Komplexität besser als bisher in den Griff zu bekommen. Das derzeit vorhandene Verkehrssystem ist, wie wir bereits im Verlaufe dieser Untersuchung festgestellt haben, derart vielfältig sowohl in seinem Aufbau und in seinen Funktionen als auch im zeitlichen Ablauf, daß eine Ist-Aufnahme und Ist-Analyse des Gesamtsystems sehr schwierig ist. Dabei bereitet die Abgrenzung des Verkehrssystems von seiner Umwelt und eine Erfassung der Vielfalt ihrer Einflußfaktoren besondere Schwierigkeiten. Für eine optimale Investitionsplanung muß dieses in seinem Ist-Zustand schon schwer zu analysierende Verkehrssystem zusätzlich in einen in der Zukunft erwünschten Zustand hineintransformiert werden können. Darüber hinaus muß es für die Verwirklichung künftiger Ziele noch anpassungs- und erweiterungsfähig bleiben.

Da das bestehende Verkehrssystem ein lebendes System ist und somit dauernden Änderungen unterliegt, muß eine Möglichkeit geschaffen werden, auch langfristige technische Änderungen wie z.B. die Verbesserung der Verkehrswege und Verkehrsmittel sowie die technischen Neuentwicklungen z.B. neuer Verkehrsmittel bei der Planung zu berücksichtigen. Weitere verkehrssystemspezifische Schwierigkeiten resultieren aus der geringen Produktionsflexibilität des Verkehrssystems. Es ist kaum möglich, Verkehrsleistung auf Vorrat zu produzieren. Ein weiteres Problem bei der Erfassung des Verkehrssystems sind die außerordentlich starken Schwankungen in der Nachfrage nach Verkehrsleistung in tageszeitlicher, saisonaler und konjunktureller Hinsicht.

In Europa bezieht sich die Verkehrsinvestitionsplanung auf ein vorhandenes Verkehrssystem in einem erschlossenen Raum

und zielt somit meist ab auf die Erweiterung vorhandener Kapazitäten und die Verfeinerung der Netzdichte, was wegen des schon vorhandenen Systems außerordentlich schwierig ist. In Entwicklungsländern besteht dieses Problem nicht.

Der Vielfalt und Verschiedenartigkeit der Verkehrsleistung steht eine Vielzahl von Nutzern und Betroffenen gegenüber. Damit ist es nicht nur schwierig, das breite Leistungsspektrum organisatorisch zu erfassen, sondern die Vielzahl der Betroffenen macht eine objektive Erfassung von positiven und negativen Eigenschaften der Verkehrsmittel im Gesamtsystemzusammenhang kaum möglich. Dies führt auch dazu, daß von den Planern die Situationen sehr unterschiedlich bewertet werden. Wenn in den Planungsgremien Investitionsentscheidungen gefällt werden, steht den Planern, für die diese Entscheidung positive Wirkungen nach sich zieht, fast immer eine Reihe von durch negative Auswirkungen Geschädigten gegenüber. Die Tatsache, daß der Individualverkehr heute wesentliche Verkehrsströme hervorruft, bringt weitere Schwierigkeiten mit sich, denn einerseits ist der freie Mensch als handelndes Wirtschaftssubjekt eine große Unbekannte für den Planungsprozeß, und die Gesellschaftsordnung, die sich der Mensch als Rahmen für sein künftiges Verhalten geben wird, ist ebenso ungewiß wie die künftigen technologischen Neuentdeckungen und Entwicklungen und deren Auswirkungen auf das Verkehrssystem. Da andererseits das Phänomen Verkehr aus freien Handlungen vieler Menschen entsteht, sind Gesetzmäßigkeiten im Verkehrssektor durch Verkehrsanalyse, Verkehrsprognose und Verkehrspsychologie nur sehr schwer zu ermitteln, kaum modellmäßig erfaßbar und nur sehr vage prognostizierbar. Eine optimale Investitionsplanung erfordert aber sichere Prognosen z.B. über künftige Verkehrsbedürfnisse und die Ermittlung von Sättigungsniveaus vor allem beim Individualverkehr.

Es gibt wenige Bereiche, wo wechselseitige Abhängigkeiten und Beeinflussungsmöglichkeiten ökonomischer und gesellschaftlicher Tatbestände so schwierig durchschaubar sind wie im Verkehrswesen. Der Verkehr hat einerseits eine dienende Funktion, andererseits eine gewisse Eigenständigkeit und Gestaltungsdynamik aus sich heraus. Somit ist die Festlegung künftiger Eingriffe in das Verkehrssystem durch Investitionsplanungsmaßnahmen unter Berücksichtigung der ökonomischen Folgewirkungen anzustreben.

V. Die Bereitstellung geeigneter Planungsmethoden und -hilfsmittel

Um die Verkehrsinvestitionsplanung zielgerichtet, praxisorientiert und möglichst optimal der technischen Realität sowie der ökonomischen und sozialen Umwelt entsprechend durchzuführen, bedarf es problemgerechter Methoden, Verfahren und Hilfsmittel. Die Verfahren der Investitionsrechnung, die Kosten-Nutzen-Analyse, die Prognoseverfahren und die Methoden des Operations Research wurden bereits in den vorausgegangenen Abschnitten untersucht, und die Probleme ihrer Verwendung in der Praxis wurden dargelegt. Darauf braucht jetzt nicht weiter eingegangen zu werden. Diese Methoden und Verfahren können nur einen wesentlichen Beitrag zur Problembewältigung leisten, wenn es gelingt, diese mehr auf die Praxis auszurichten. Dazu müssen die Methoden über die unterschiedlichen Interessen von Wissenschaft und Praxis hinweg kooperativ weiterentwickelt werden. Zusätzlich zu der Weiterentwicklung der o.a. Methoden und Verfahren muß es gelingen, den Computer als Hilfsmittel im Planungsprozeß mehr als bisher zu verwenden.

Die Forderungen an die Investitionsplanung in der Verkehrsplanung, die da z.B. lauten:

- Flexible Planung
- Dynamische Planung
- Planung auf mehreren Ebenen
- Kurze Reaktionszeiten auf unvorhersehbare Ereignisse
- Berücksichtigung multivariabler Zielsysteme
- Möglichkeit der Simulation
- Möglichkeit des Nachvollziehens des Entscheidungsprozesses
- Möglichkeit der Planungskontrolle

können nur durch die Entwicklung umfassender Mensch-Maschine-Entscheidungssysteme erfüllt werden. Viele der in den vorausgegangenen Abschnitten dargelegten OR-Methoden können nur

mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung sinnvoll und nutzbringend zur Lösung praktischer Probleme verwendet werden. Umgekehrt hat auch der technische Fortschritt im Computerbau zu einer raschen Weiterentwicklung und Verbesserung der mathematischen Methoden des OR geführt.

Das elektronische Datenverarbeitungssystem (der Computer) besteht aus einer Menge von Verfahren und Geräten, die dazu benutzt werden, mit Hilfe einer Menge vorgeplanter Aktionen und Operationen angestrebte Ergebnisse zu erzielen. Unabhängig von ihrer Größe, ihrem Typ und ihrer Zweckbestimmung gibt es für alle Computer bestimmte gemeinsame Grundkonzeptionen und Funktionsprinzipien.

Je nach der Form, in der der Computer die Daten intern darstellt, unterscheidet man "Digital-Rechner" (diskrete Werte) und "Analog-Rechner" (elektrische Ströme/Spannungen). Wir wollen hier nur digitale Datenverarbeitungssysteme betrachten, da nur solche für unsere Zwecke verwendbar sind.

Leistungsfähige elektronische Datenverarbeitungssysteme bilden die Basis eines Informationssystems.[1)] Ein Informationssystem besteht aus einer Konstellation von Menschen, Verfahren und Maschinen zum Zweck der Befriedigung der Informa-

---

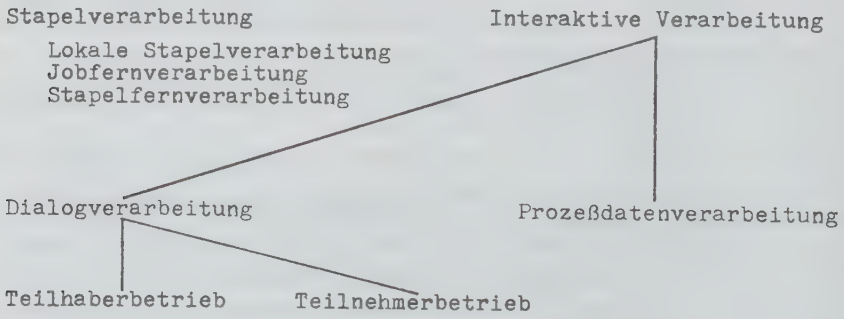
1) Zum Unterschied: Information und Daten siehe:
Dworatschek, S., Management-Informations-Systeme, Berlin, New York 1971, S.52 ff.

Chorafas, D.N., Management-Informations-Systeme, München 1972

Daten sind Informationsträger. Sie dienen der Darstellung und Beschreibung irgendwelcher Fakten, die in keiner Beziehung zueinander stehen, nicht ausgewertet sind, oft auch nicht in vollem Umfang benötigt werden und durch bestimmte Sensoren aufgenommen werden. Da die Daten deskriptiven (passiven) Charakter haben, werden sie immer einem Bearbeitungsprozeß unterworfen.
Information besteht aus qualifizierten Daten, die verdichtet, sortiert und gemischt, auf den neuesten Stand gebracht, zu Berechnungen verwendet, ausgewertet und schließlich formatiert, d.h. in eine für Berichtzwecke brauchbare Form gebracht worden sind. Information beschreibt also jene Fakten der Umwelt, die für den Entscheidenden von Belang sind.

tionsbedürfnisse.[1] Das im wesentlichen auf eine Verbesserung von Informationen ausgerichtete Informationssystem hat jedoch die Optimierung von Entscheidungen als Endziel, denn bessere Informationen ermöglichen bessere Entscheidungen. Die Entscheidungen der Benutzer werden durch ein Informationssystem auf zwei Arten beeinflußt. Erstens dient die Bereitstellung des Datenmaterials in einer Datenbank zur Vorbereitung der Entscheidung. Zum zweiten ist das Informationssystem mit Hilfe der ihm zur Verfügung stehenden Software und der darin enthaltenen Entscheidungsmodelle (Modellbank) in der Lage, Optimierungen und Automatisierungen durchzuführen. Ein Informationssystem ist also mehr als ein Computer, eine Datenbank und eine Modellbank.

Man kann elektronische Datenverarbeitungssysteme nach der mit ihrer Hilfe betriebenen Verarbeitungsform klassifizieren. Es wird hier unterschieden zwischen "Stapel-Verarbeitung" und "Interaktiver Verarbeitung". Der folgende "Stammbaum der Nutzungsformen der Datenverarbeitungssysteme"[2] gibt dazu einen guten Überblick.



1) Vgl. Chorafas, D.N., Management-Informations-Systeme, a.a.O., S.128

2) Vgl. Fischer, U.E., Nutzungsformen der Datenverarbeitungssysteme, in: IBM-Nachrichten, 23.Jg. (1973), Heft 216, S.712-718

Bei der Stapelverarbeitung ("batch-processing") wird ein der Datenverarbeitungsanlage zur Verarbeitung übergebenes Programm zunächst vollkommen abgearbeitet, bevor mit der Bearbeitung einer neuen Aufgabe begonnen werden kann. Die übrigen Programme stehen in einer Warteschlange. Eine optimale Ausnutzung der Anlage ist hierbei nicht möglich. Durch Parallelverarbeitung können bei Anlagen mit größerem Kernspeicher eventuelle Wartezeiten im System, die wegen der unterschiedlichen Arbeitsgeschwindigkeiten der verschiedenen Systemkomponenten auftreten, durch Verwendung von Kanälen verhindert werden. Dadurch wird der Wirkungsgrad der Anlage erheblich verbessert.

Die interaktive Verarbeitung ("interactive processing") bietet die Möglichkeit einer ständigen Wechselwirkung zwischen dem Benutzer und dem betriebsbereiten Rechnersystem. "Die Benutzer ... werden an der Verarbeitung derart beteiligt, daß es zu einem Informationsaustausch zwischen dem Rechensystem und den Benutzern ... kommt."[1)]

Beim Teilnehmer- bzw. Teilhaberbetrieb können mit Hilfe der Datenfernverarbeitung mehrere räumlich weit entfernte Benutzer die Anlage gleichzeitig so benutzen, als ob sie während der Benutzungszeit jedem Einzelnen ausschließlich zur Verfügung stünde. Dies geschieht dadurch, daß die zur Verfügung stehende Gesamtzeit in Zeitscheiben aufgeteilt und an die einzelnen Benutzer entweder zyklisch oder nach festgelegten Prioritäten vergeben wird.

Der Trend, die Datenverarbeitung als aktives Planungsinstrument einzusetzen, wird immer stärker. Durch den Aufbau von Datenbanken, durch umfangreiche Programmbibliotheken und den Aufbau dialogfähiger Datenverarbeitungsanlagen ist eine ständige Informationsbereitschaft und somit eine reibungslose Versorgung breiter Benutzerschichten

---

1) Fischer, U.E., a.a.O., S.713

mit Informationen aus technischer Sicht möglich. Trotzdem wird nach neuen Konzeptionen für Informationssysteme gesucht, die alle Techniken und Methoden zur Gewinnung, Speicherung und Verteilung von Informationen umfassen.

Der Einsatz eines computergestützten Informationssystems ist auch in unserem Problembereich vorteilhaft. Das Informationssystem, bestehend aus einer Reihe von Systemelementen und -prozessen soll die Aufgabe erfüllen, dem Menschen bei der Bewältigung des Verkehrsinvestitionsproblems zu helfen. Durch das Einbeziehen des Computers können dem Menschen die Aufgaben der Informationserfassung, -verarbeitung sowie Entscheidungsprozesse ganz oder teilweise abgenommen werden. Dies ist gerade auf dem Verkehrssektor erforderlich, da die Struktur des Verkehrssystems und die Betrachtung und Bewertung der Auswirkungen von Verkehrsinvestitionen auf die Gesamtwirtschaft das menschliche Informationsverarbeitungsvermögen übersteigt. Die Schaffung eines Informationssystems bringt dagegen dem Menschen neue Aufgaben. Es muß geklärt werden, welche Art von Informationssystem geschaffen werden soll, welche Rolle der Computer übernehmen soll und welche der Mensch, wie die Struktur und technische Dimensionierung des Systems aussehen soll, für welche Komponenten marktgängige Hard- und Software vorhanden ist, und wo durch problemspezifische Neuentwicklung von Programmen wesentliche Fortschritte für die Planung im Verkehrssektor erreicht werden können.

Der Grad der Unterstützungsmöglichkeit des Planers wird bestimmt durch die Aufgabenteilung zwischen Mensch und Maschine. Die Erstellung eines solchen Systems kann nur schrittweise erfolgen, und es wird sich der Grad der Untersützung des Planers durch ein solches System ständig erhöhen. Das besondere Interesse liegt zunächst beim Konzipieren der Datenbank und hier insbesondere bei der Festlegung des Inhaltes, damit eine problemgerechte Datenbasis geschaffen

wird. Die Investitionsplanung ist ein Prozeß, bei dem ständig neue Daten anfallen, vorhandene Daten ergänzt, ersetzt oder nach neuen Kriterien abgefragt und verarbeitet werden müssen.

Zusammenfassend können zunächst an das für die Verkehrsinvestitionsplanung erforderliche Informationssystem folgende funktionale Anforderungen gestellt werden.

- Die Informationsentstehung und ihre Benutzung muß gleichermaßen intensiv betrieben werden können.
- Die problembezogene Anwendung erfordert einen erheblichen Anteil an Neuentwicklung von Software.
- Das System muß die Funktionen Datenerfassung, Datenverarbeitung, Datenaufbereitung und Darstellung von Daten und Informationen besitzen.
- Durch problembezogene Softwareentwicklung muß die Unterstützung des Verkehrsplaners im Planungsprozeß sichergestellt werden, ein Nachvollziehen der Entscheidung ermöglicht werden und eine Überprüfung der Auswirkungen der Entscheidung an Hand der Planungsziele durchführbar sein.

Datenerfassung

Die bei der Investitionsplanung benötigten langlebigen, aber auch vor allem die kurzlebigen Daten müssen zeitgerecht erfaßt werden können. Dazu sind problemgerechte Verfahren bereitzustellen, damit durch fehlende Eingabedaten keine Engpässe in der Abwicklung des Planungsprozesses mit Hilfe des Computers entstehen. Durch automatische Plausibilitätskontrollen sollte die Richtigkeit und Vollständigkeit der eingegebenen Daten in hohem Maße sichergestellt werden. Ferner sollte die Möglichkeit vorhanden sein, benötigte Daten,die in anderen EDV-gestützten Informationssystemen (z.B. bei Statistischen Landesämtern) bereits

vorhanden sind, direkt zu übernehmen. Das erfordert das Vorhandensein von Kommunikationsbeziehungen.

Datenverarbeitung

Zur Datenverarbeitung gehören einerseits die Funktionen Speichern, Wiedergewinnen, Verknüpfen, Auswählen, Sortieren und Überwachen der Daten, andererseits auch die arithmetische Verarbeitung, die Datenverdichtung sowie komplexe Verarbeitungsvorgänge auf Grund vorhandener problemgerechter Verarbeitungsprogramme.

Ausgabe und Darstellung von Daten und Informationen

Das Informationssystem muß eine zeitgerechte und problembezogene Darstellung (Ausgabe) der durch den Einsatz von Verarbeitungsprogrammen entstandenen Informationen für den Benutzer sicherstellen. Ferner müssen Schutzmaßnahmen den Zugriff unberechtigter Benutzer verhindern. Insbesondere muß der Planer die Möglichkeit haben, per Dialog die benötigten Daten und Informationen zu erhalten.

Eine Erfolgskontrolle muß derart durchführbar sein, daß das System mit Hilfe von speziellen Programmen die erwarteten Planungswerte mit den tatsächlich erreichten vergleicht.

Da Investitionsplanung im Verkehrssektor nicht isoliert betrieben wird, muß das Informationssystem mit anderen Informationssystemen zusammenarbeiten können, woraus sich Forderungen an die Kommunikationsfähigkeit mit anderen Rechnern ergeben. Hierbei müssen Daten zwischen geographisch auseinanderliegenden Rechnersystemen transportiert werden können.

Neben allen Anforderungen an ein Informationssystem muß hier klargestellt werden, daß die eigentliche Investitions-

entscheidung nicht durch noch so komplexe Entscheidungsprogramme gefällt werden kann, sondern daß dieser Vorgang dem politischen Entscheidungsgremium vorbehalten bleiben muß. Dem Informationssystem bleibt die Aufgabe der informativen und problemgerechten Bereitstellung der vorhandenen und gerade benötigten Entscheidungsinformation.
Ferner ist es möglich, exakte mathematische Verfahren schnellstens und mit höchster Präzision durchzuführen.
Trotz ihrer hohen Leistungsfähigkeit ist die elektronische Datenverarbeitung zur Zeit ebenso wie Operations Research lediglich dazu geeignet, Entscheidungen vorzubereiten, jedoch nicht in der Lage, Entscheidungen zu fällen. Somit können also OR und EDV nicht als Allheilmittel für eine optimale Investitionsplanung in der Verkehrspolitik angesehen werden.

Die große Schwierigkeit der Verkehrspolitik liegt im Vorfeld der Datenverarbeitung, nämlich festzulegen, nach welchen Zielen sie ausgerichtet werden soll und woran ihr Erfolg erkannt und gemessen werden soll. Die Bewältigung dieser Schwierigkeit ist die Voraussetzung für eine sinnvolle Anwendung von OR und EDV für eine optimale Investitionsplanung. Diese Aufgabe kommt jedoch der Politik selbst bzw. einem interdisziplinären Team von Politikern, Medizinern, Psychologen, Wirtschaftswissenschaftlern, Naturwissenschaftlern und OR-Fachleuten zu. Ein noch so leistungsfähiger Computer mit all seinen Möglichkeiten kann diese Aufgabe nicht übernehmen.
Die Verwendung von OR und EDV macht es also erforderlich, die Entscheidungsfreiheit im Entscheidungsprozeß in das Vorfeld zu verlegen, d.h. bei der Prämissenbildung voll auszunutzen, denn der Entscheidungsvorgang selbst läuft dann unter dem Zwang dieser Methoden nach definierten, logischen Schlußregeln ab, die in den benutzten Programmen oder Algorithmen festgeschrieben sind.

VI. Die problemgerechte Planungsdurchführung und Erfolgskontrolle

Die Komplexität und Größe des Verkehrssystems führt zwangsläufig dazu, daß eine Reihe von individuellen Planern sowie eine Vielzahl von Planungsorganisationen aus den verschiedensten Bereichen mit der Investitionsplanung in der Verkehrspolitik befaßt sind. Menschliche Unzulänglichkeiten sowie Fehler in der Planungsorganisation bringen ein erhebliches Risiko von Fehlentscheidungen mit sich. Von den menschlichen Unzulänglichkeiten sollen vor allem genannt werden:

- die Abhängigkeit des Entscheidungsverhaltens von bestimmten Entscheidungssituationen,
- das Nachgeben dem Druck von Interessengruppen,
- das berechnende Verhalten des Politikers in seiner Situation (z.B. im Hinblick auf seine Wahl),
- die mangelnde Kooperationsbereitschaft vieler Individuen,
- die stärkere Tendenz zum Durchsetzen der eigenen individuellen Planungsvorstellungen auf Grund von Vorurteilen und Machtstreben,
- die mangelnde Bereitschaft zur Offenlegung aller tatsächlichen Entscheidungsgründe,
- die geringe Bereitschaft, mehrere Planungsalternativen zu entwerfen und sich damit auseinanderzusetzen.

Das planende Individuum läßt sich von diesen genannten Dingen bei der Planung oft wesentlich mehr beeinflussen als durch sachlich fundierte Argumente.

Hinzu kommt die Tatsache, daß der Mensch ohne aufwendige Hilfsmittel nicht in der Lage ist, mehr als eine geringe Anzahl von Kriterien gleichzeitig zu berücksichtigen oder mehrere zur Wahl stehende Alternativen parallel zu betrachten.

Ferner ist es dem Menschen nicht ohne weiteres möglich, komplexe Planungsentscheidungen schnell den nicht vorhersehbaren sich ändernden Gegebenheiten durch Planungsänderungen anzupassen.

Bei verschiedenen Planungsorganisationen, die wie bei der Verkehrsinvestitionsplanung mit dem gleichen Problem befaßt sind, entsteht das Problem der Koordination und Strukturierung der Planung entsprechend den Zuständigkeiten. Hier ist ein auf Grund unterschiedlicher Denkweisen und Interessen in den Zuständigkeitsbereichen vorhandenes Ressortdenken zu überwinden.

Innerhalb der Planungsorganisation müssen einheitliche Beurteilungs- und Bewertungskriterien gefunden werden, individuelle Präferenzen, Nutzenschätzung und Zufriedenheitsgrade interpersonell abgeglichen und die unterschiedlichen Kriteriendimensionen zu einer in sich geschlossenen, objektiven Planung zusammengefaßt werden.
Erst solch objektivierte Entscheidungen können transparent gemacht werden, sind meist nachvollziehbar und ermöglichen eine gewisse Erfolgskontrolle, wenn klar feststeht, auf-Grund welcher Fakten die Entscheidung gefällt wurde.
Zur Zeit überlappen sich oft die Zuständigkeitsbereiche der Institutionen, und da jede Institution im wesentlichen für sich plant, behindern sich die Institutionen selbst, und zwar derart, daß sie die angestrebten Erfolge anderer mangels Koordination verplanen oder daß sich die Planungsziele gegenseitig aufheben.

Ferner kann bei einer eigenständigen Planung in jeder der Institutionen die gewonnene Erfahrung nur von dieser einen Institution genutzt werden und geht für andere verloren.

Mangelnde Kenntnisse auf Grund der bisherigen Vorgehensweise und geringe Erfahrung verursachen auch heute noch eine Abneigung gegen das Zusammenwirken der Planer mit

einem computergestützten Informationssystem, obwohl nur mit einem solchen System die Probleme einer Lösung näher gebracht werden können.

Eine Erfolgskontrolle über die durchgeführte Planung derart, daß überprüft wird, inwieweit Investitionen nach ihrer Realisierung tatsächlich den Planungszielen entsprechen, findet bisher überhaupt nicht statt. Eine solche Erfolgskontrolle sollte unbedingt durchgeführt werden, um zu prüfen, ob der geplante Erfolg eingetreten ist, und wenn ja, in welcher Größenordnung und zu welcher Zeit. Diese Kontrolle ermöglicht frühzeitige Korrekturen für eine langfristig angelegte Planung und liefert Hinweise für eine allgemeine Verbesserung des Planungsprozesses.

Der Prozeß der Investitionsplanung im Verkehrswesen, der das Durchdringen der Gesamtzusammenhänge zwischen Politik, Wirtschaft, Technik und Verkehr erfordert, sollte in folgenden systemanalytischen Schritten durchgeführt werden:

- Beschaffung von Grundlagenwissen (Informationsbasis),
- Analyse des derzeitigen Standes,
- Schaffung von Entscheidungsmechanismen,
- Erstellung und Analyse eines Zielsystems,
- Analyse vorhandener und künftiger Ressourcen,
- Erarbeiten von alternativen Investitionsprojekten
- Überprüfen der Investitionsalternativen auf Kompatibilität mit dem vorhandenen Verkehrssystem,
- Abschätzen des für jede Alternative erforderlichen Aufwandes,
- Nutzwertanalyse,
- Erarbeitung von Auswahlkriterien und ihre Gewichtung,
- Erstellen einer Prioritätenliste für die Alternativen,

- Überprüfung der Auswirkungen auf andere Entscheidungen,
- Treffen der Entscheidung,
- Erarbeitung von Anweisungen zur Durchführung der ausgewählten Investitionsmaßnahmen,
- Erfolgskontrolle.

Die Durchführung der Verkehrsinvestitionsplanung in den o.a. Schritten ist geeignet, die Schwachstellen der derzeitigen Vorgehensweise in wesentlichen Teilen zu beheben.

C. Erarbeitung eines Grobkonzeptes für eine Verbesserung der Investitionsplanung in der Verkehrspolitik

Zum Abschluß dieser Arbeit sollen nun Wege aufgezeigt werden, die es ermöglichen, die praktische Durchführung der Investitionsplanung in der Verkehrspolitik wesentlich zu verbessern. Hierzu wird ein Grobkonzept entwickelt, das angibt, wie die in den vorausgegangenen Abschnitten untersuchten und beschriebenen Methoden und Hilfsmittel an der richtigen Stelle und in einem der Methode angemessenen Umfang im Investitionsplanungsprozeß eingesetzt werden sollen, bzw. wo durch Ergänzung und Weiterentwicklung der Methoden eine größere Effektivität erreicht werden kann.

Die Verkehrspolitik muß sich aller neuen Methoden bedienen, die in dieser Arbeit genannt wurden, denn nur mit ihrer Hilfe kann ein ökonomisches Konzept für die Investitionsplanung erstellt werden, können Investitionsentscheidungen sorgfältig vorbereitet, gefällt und somit Fehlinvestitionen vermieden werden. Deshalb soll hier ein Grobkonzept dafür erarbeitet werden, wie die neuen Methoden sinnvoll zusammengefügt werden können, so daß den speziellen Belangen der Investitionsplanung in der Verkehrspolitik Rechnung getragen wird. Dieses Konzept ist jedoch sicherlich auch für viele andere politische Entscheidungen nützlich, da es wesentliche Elemente enthält, die nicht nur in der Verkehrspolitik relevant sind.

I. Die Änderung der Fragestellung für die Verkehrsinvestitionsplanung

Die bisherige Vorgehensweise ist aus der folgenden Formulierung, die aus dem "Jahresbericht 1971 des Bundesministers für Verkehr" stammt, deutlich ersichtlich.
"Ausgehend von einer Bestandsaufnahme der Verkehrswege-

kapazitäten werden künftige Streckenbelastungen auf Grund von Nachfrageprognosen dem Verkehrswegeangebot gegenübergestellt und langfristige Ausbauerfordernisse ermittelt."[1] Man versuchte demzufolge, die durch die stark anschwellenden Verkehrsströme entstandenen und auf Grund von Prognosen voraussichtlich entstehenden Verkehrsströme und die durch sie bedingten Engpässe im Verkehrsnetz durch jährlich steigende Ausgaben zu beheben. Das bedeutete sowohl in der Vergangenheit als auch noch in der nahen Zukunft eine beachtliche Blüte des Straßenbaus, auf den z.Zt. rund die Hälfte des von der öffentlichen Hand aufgebrachten Gesamtbetrages für Verkehrsinvestitionen entfallen.[2] Wenn auch das Ziel, die Kapazität des Verkehrsnetzes einer davoneilenden Verkehrsnachfrage anzupassen, für die Vergangenheit akzeptiert werden muß, so ist es jetzt höchste Zeit, davon abzukommen. Die Energiekrise z.B. hat deutlich gemacht, daß das Auto in seiner heutigen Form nicht das Verkehrsmittel der Zukunft sein wird. Läßt man die Erkenntnisse der jüngsten Vergangenheit außer acht, so besteht die Gefahr, daß bei der Verwirklichung der derzeitigen Ziele der Verkehrsinvestitionsplanung Systemkomponenten erstellt werden, die schon kurze Zeit später nicht mehr genutzt werden können.
Die Verkehrsinvestitionspolitik muß darauf gerichtet sein, den Menschen heute und auch in der Zukunft mit Verkehrsleistung zu versorgen, und zwar so, daß die knappen Ressourcen wie z.B. Rohstoffe, Energie, Arbeitskraft und Kapital möglichst effektiver als bisher eingesetzt werden, d.h. es muß den gegenwärtigen und den zukünftigen Bedürfnissen der Gesellschaft Rechnung getragen werden. Folglich ist es dringend notwendig, hier neue Wege aufzuzeigen.

---

1) Der Bundesminister für Verkehr und für das Post- und Fernmeldewesen (Hrsg.), Jahresbericht 1971 des Bundesministers für Verkehr, Sonderdruck aus dem Jahresbericht 1971 der Bundesregierung, o.O., o.J., S.8

2) Ebenda, S. 7

Geht man von der Frage aus:
- Wie muß das Verkehrssystem (bestehend aus einer Reihe von Systemkomponenten) aussehen, damit die durch ein optimales Zusammenwirken der Komponenten zu erbringende Leistung im Sinne des zugrunde liegenden Zielsystems optimal wird ? -
so kommt man weg von dem bisherigen Vorgehen und macht die gegenwärtige und zukünftige Verkehrsleistung zur entscheidungsbestimmenden Bezugsgröße für die Investitionsplanung in der Verkehrspolitik.
Es wird im folgenden noch deutlich werden, warum gerade der Begriff Verkehrsleistung hier besonders geeignet erscheint. Diese Vorgehensweise stellt sicher, daß sich die Planung des Verkehrssystems schwerpunktmäßig nicht, wie bisher, nur an der Nachfrage orientiert.

II. Die Verbesserung des Zielsystems für die Verkehrsinvestitionsplanung

1. Politische Grundsatzziele als Basis für die Zielsetzung in der Verkehrspolitik

Die Beantwortung der von uns gestellten zentralen Frage der Investitionsplanung für den Verkehrssektor setzt eine exakte Festlegung dessen voraus, was eigentlich angestrebt werden soll. Ein notwendiger Schritt ist die Formulierung eines Zielsystems für die Verkehrspolitik. Bevor man aber ein Zielsystem speziell für die Verkehrspolitik aufstellt, müssen die allgemeinen Ziele der Gesellschafts- und Wirtschaftspolitik klar festliegen und der Standort des Individuums in unserer Gesellschaft und Wirtschaft geklärt sein. Das kann im Rahmen dieser Untersuchung nicht erfolgen. Hier bedarf es noch einiger Anstrengungen, um z.B. eine unmißverständliche Abgrenzung der Freiheit des Individuums gegenüber der Freiheit seiner Mitmenschen vorzunehmen. Ferner muß z.B. die Frage beantwortet werden, ob eine Ausrichtung der Politik nach marktwirtschaftlichen Grundsätzen weiterhin bestehen bleiben soll und kann. Die Beantwortung solch wichtiger Grundsatzfragen, die für gesellschafts- und wirtschaftpolitische Verhaltensweisen richtungweisend sind, ist die erste Voraussetzung für die Erstellung eines realistischen Zielsystems[1] für die Verkehrspolitik.

---

1) Siehe dazu: Dahl, R.A., Lindblom, Ch.E., Sieben Grundziele der Gesellschaftsgestaltung, in: Gäfgen, G.(Hrsg.), Grundlagen der Wirtschaftspolitik, Köln-Berlin 1966, S.211-236. In dieser Untersuchung werden sowohl sieben instrumentale Ziele - Freiheit, Rationalität, Demokratie, subjektive Gleichheit, Sicherheit, Fortschritt, angemessene Einbeziehung (Dieser Begriff bezieht sich auf das Problem, welche Interessen welcher Individuen und Gruppen in die Zielsetzungen einer Gesellschaft mit einzubeziehen sind.) - genannt als auch die Art und Weise diskutiert, in welcher darüber entschieden wird, wie und in welchem Grad die Primärziele des Menschen - Existenz (Überleben), physiologische Befriedigung (Nahrung, Sexualität, Schlaf, Komfort), Liebe und Zuneigung, Anerkennung, Selbstachtung, Macht (Herrschaft), Können und Bildung - verwirklicht werden können unter Berücksichtigung der dabei entstehenden Zielkonflikte.

Eine weitere grundsätzliche Arbeit muß geleistet werden, um die im Rahmen unserer Gesellschaft liegenden technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten abzuschätzen, die es uns gestatten, die grundsätzlichen politischen Ziele zu verwirklichen und eine Prognose der entstehenden Bedürfnisse zu erstellen.[1)]

Auf der Grundlage der politischen Zielsetzung ergibt sich ein globaler Katalog an Aufgaben für die öffentliche Hand. Die Bewältigung dieser Aufgaben erfordert eine Reihe von Maßnahmen, wobei sich meistens eine Anzahl möglicher Alternativen anbietet. Erst an dieser Stelle ist zu klären und festzulegen, welche Aufgaben aus dem gesamten Aufgabenpaket auf den Verkehrssektor entfallen, und genau hier kann mit der Erstellung eines Zielsystems für die Verkehrspolitik begonnen werden. Damit müßte deutlich geworden sein, daß eine sinnvolle Verkehrspolitik nur im Zusammenhang mit der Gesellschaftspolitik betrieben werden kann.

---

1) Siehe dazu: Kirschen, E.S. u.a., Ziele der praktischen Wirtschaftspolitik, in: Gäfgen, G.(Hrsg.), Grundlagen der Wirtschaftspolitik, Köln-Berlin 1966, S.237-259
Der darin enthaltene Zielkatalog gibt in diesem Zusammenhang einen guten Überblick über die wirtschaftspolitischen Ziele, wie sie in acht Ländern Westeuropas und den Vereinigten Staaten verfolgt werden:

- Vollbeschäftigung
- Preisstabilität
- Verbesserung der Zahlungsbilanz

} sind vorwiegend kurzfristig (konjunkturell)

- Wirtschaftswachstum
- Rationaler Einsatz der Produktionsfaktoren
- Befriedigung von Kollektivbedürfnissen
- Verbesserung der Einkommens- und Vermögensverteilung
- Protektionismus und Priorität bestimmter Wirtschaftszweige oder Gebiete

} sind vorwiegend langfristig (strukturell) vorrangige Ziele

- Veränderung der privaten Konsumstruktur
- Sicherstellung der Versorgung
- Veränderung der Bevölkerungsgröße oder -struktur
- Arbeitszeitverkürzung

} nachrangige Ziele

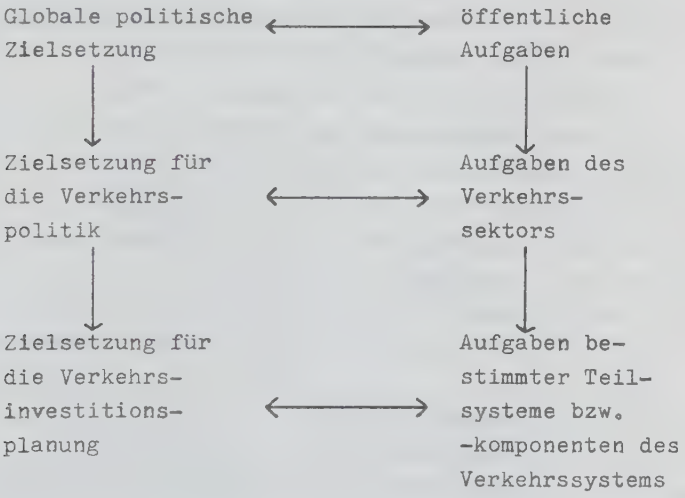
So können beispielsweise die politischen Globalziele

- Gewährleistung der individuellen Freiheit und
- Steigerung der Lebensqualität

in der Verkehrspolitik eine

- stärkere Förderung des Individualverkehrs und eine
- Erhöhung der Forschungsmittel für die Entwicklung menschen- und umweltfreundlicherer Antriebstechnologien

direkt zur Folge haben.



Ein gesamtgesellschaftliches Zielsystem könnte beispielsweise folgendermaßen aussehen: [1)]

---

1) Siehe dazu: Koelle, H.H., Inhaltlicher Entwurf eines zielorientierten gesamtgesellschaftlichen Simulationsmodells, in: Berichte des Zentrums Berlin für Zukunftsforschung (ZBZ), Nr. 21, Berlin 1974

Vgl. Koelle, H.H., Gesellschaftspolitische Zielsysteme in ihrer Bedeutung für die Verkehrsplanung, in: DVWG, Grundsatzprobleme bei Langfristprognosen im Personenverkehr, Köln 1975, S. 109

Oberziel: Qualität des Lebens erhalten und verbessern

Teilziele der ersten Ebene:

i) Erhaltung und Verbesserung der materiellen Qualität
ii) Erhaltung und Verbesserung der physischen Qualität
iii) Erhaltung und Verbesserung der geistigen Qualität
iv) Erhaltung und Verbesserung der seelischen Qualität

Teilziele der zweiten Ebene:

Zu i) Bedarfsgerechte Unterbringung der Menschen
Sicherstellen der materiellen Versorgung
Sicherung des wirtschaftlichen Wachstums
Sicherung vor Zerstörung

Zu ii) Erhaltung der Gesundheit
Wiederherstellung der Gesundheit
Erhaltung der natürlichen Umwelt
Verhinderung von Gewaltanwendung

Zu iii) Schaffung von Bildungsmöglichkeiten
Vermehrung des Wissens
Bessere Nutzung des Wissens
Erhaltung und Erweiterung der kulturellen Umwelt

Zu iv) Nutzung und Ausprägung persönlicher Anlagen und Bedürfnisse
Zufriedenheit in den Familien
Anerkennung in sozialen Gemeinschaften
Hebung des ethischen Standes

Aus diesem gesamtgesellschaftlichen Zielsystem ergeben sich Anforderungen an den Verkehrssektor. Die gerechtfertigten und gesamtgesellschaftlich vertretbaren Verkehrsbedürfnisse führen zu Anforderungen an die Leistungsfähigkeit des Verkehrssystems. Als Hauptziel für die Verkehrspolitik ergibt sich daraus: Schaffung eines Verkehrssystems durch Investitionsmaßnahmen, das die berechtigten Verkehrsbedürfnisse optimal befriedigt und dazu beiträgt,

überflüssigen Verkehr zu verhindern. Nach der Festlegung der Aufgaben für das Verkehrssystem und der Festschreibung eines in die Gesamtpolitik eingebetteten Zielsystems für die Verkehrspolitik kann also das spezielle Zielsystem für die Verkehrsinvestitionsplanung erarbeitet werden.

2. Zielsysteme für die Investitionsplanung im Verkehrssektor [1)]

Das verkehrspolitische Zielsystem sagt etwas aus über den idealen Sollzustand des anzustrebenden Verkehrssystems, der durch Investitionsmaßnahmen möglichst gut erreicht werden soll. Unter Berücksichtigung der zentralen Fragestellung könnte das folgende Gesamtziel formuliert werden:

- Das Verkehrssystem ist durch Investitionsmaßnahmen in die Lage zu versetzen, daß es die aus der gesamtgesellschaftlichen Zielsetzung resultierenden gerechtfertigten Bedürfnisse nach Ortsveränderung von Personen, Gütern, Energie und Information unter Berücksichtigung der erkennbaren Folgewirkungen für die Gesamtwirtschaft durch bestmögliches Zusammenwirken der Systemkomponenten optimal abdecken kann. -

Die Investitionsmaßnahmen, die fast immer dann notwendig werden, wenn der Ist-Zustand des Verkehrssystems von der Soll-Vorstellung abweicht, dienen der Erreichung der verkehrsspezifischen Ziele. Die zur Zielerreichung erforderlichen Ressourcen wie Rohstoffe, Energie, Grund und Boden, Arbeitskraft und Kapital sind festzustellen und möglichst effektiv einzusetzen.

Das eben formulierte Gesamtziel läßt noch eine Reihe von Zielsystemen zu, die je nach Betrachter unterschiedliche Aspekte schwerpunktmäßig hervorheben.

---

1) Siehe dazu: Koelle, H.H., a.a.O., S. 108 - 111
Koelle, H.H., Das allgemeine Zielsystem und die Entwicklung eines operationalen verkehrsspezifischen Zielsystems, Manuskript eines Referates im Verkehrswissenschaftlichen Seminar der DVWG, Kolloquium IX vom 30.09.-02.10.75 in Mainz

Ein mehr staatlich orientiertes Zielsystem für die Verkehrsinvestitionsplanung mit dem Oberziel "Verbesserung der Qualität der Verkehrsleistung" könnte, wenn man nur die verkehrsspezifischen Aspekte berücksichtigt, folgendermaßen aufgebaut sein.

0. Verbesserung der Qualität der Verkehrsleistung

1. Infrastrukturelle Verbesserungen auf dem Verkehrssektor
   - 1.1 Erhöhung der Straßennetzdichte
   - 1.2 Erhöhung der Schienennetzdichte
   - 1.3 Erhöhung der Wasserstraßennetzdichte
   - 1.4 Erhöhung der Flugplatzdichte
   - 1.5 Förderung des ruhenden Verkehrs (Bau von Parkplätzen, Parkhäusern)

2. Verbesserung des Nahverkehrs
   - 2.1 Förderung des ÖPNV[1] im Hinblick auf
     - 2.11 Sicherheit
     - 2.12 Bequemlichkeit
     - 2.13 Umweltfreundlichkeit
     - 2.14 Massenleistungsfähigkeit
     - 2.15 Schnelligkeit
     - 2.16 Häufigkeit der Verkehrsbedienung
     - 2.17 Netzbildungsfähigkeit
     - 2.18 Berechenbarkeit
     - 2.19 Energieausnutzung
   - 2.2 Förderung des Güternahverkehrs im Hinblick auf
     - 2.21 Erhöhung der Massenleistungsfähigkeit
     - 2.22 Erhöhung der Schnelligkeit
     - 2.23 Verbesserung der Energieausnutzung
     - 2.24 Verminderung des Verbrauchs an Ressourcen
     - 2.25 Erhöhung der Sicherheit
     - 2.26 Erhöhung der Umweltfreundlichkeit

---

1) ÖPNV = Öffentlicher Personennahverkehr

3. Verbesserung des Fernverkehrs durch

3.1. Förderung des Personenfernverkehrs
- 3.11 Sicherheit
- 3.12 Bequemlichkeit
- 3.13 Unweltfreundlichkeit
- 3.14 Massenleistungsfähigkeit
- 3.15 Schnelligkeit
- 3.16 Häufigkeit der Verkehrsbedienung
- 3.17 Netzbildungsfähigkeit
- 3.18 Berechenbarkeit
- 3.19 Energieausnutzung

3.2 Förderung des Güterfernverkehrs
- 3.21 Erhöhung der Massenleistungsfähigkeit
- 3.22 Erhöhung der Schnelligkeit
- 3.23 Verbesserung der Energieausnutzung
- 3.24 Verminderung des Verbrauchs an Ressourcen
- 3.25 Erhöhung der Sicherheit
- 3.26 Erhöhung der Umweltfreundlichkeit

Das folgende verkehrsspezifische Zielsystem orientiert sich an dem Oberziel: Optimale Erfüllung der gesamtgesellschaftlich vertretbaren Anforderungen an das Verkehrssystem.

1. Bereitstellung der notwendigen Verkehrskapazität durch

1.1 Bessere Auslastung vorhandener Kapazitäten durch
- 1.11 Geschwindigkeitserhöhung
- 1.12 Erhöhung der Fahrthäufigkeit

1.2 Erweiterung der vorhandenen Kapazitäten durch
- 1.21 Schaffung neuer Verkehrswege
- 1.22 Ausbau vorhandener Verkehrswege

1.3 Beseitigung nicht mehr notwendiger Kapazitäten

2. Bereitstellung einer angemessenen Qualität der Verkehrsleistung
   - 2.1 Sicherheit
   - 2.2 Bequemlichkeit
   - 2.3 Umweltfreundlichkeit
   - 2.4 Massenleistungsfähigkeit
   - 2.5 Schnelligkeit
   - 2.6 Häufigkeit der Verkehrsbedienung
   - 2.7 Netzbildungsfähigkeit
   - 2.8 Berechenbarkeit
   - 2.9 Energieausnutzung

3. Verminderung des Ressourcenverbrauchs (Kostensenkung)
   - 3.1 Senkung der Aufwendungen für
     - 3.11 Grund/Boden
     - 3.12 Rohstoffe
     - 3.13 Energie
     - 3.14 Arbeitsleistung
   - 3.2 Senkung der Betriebskosten für
     - 3.21 Grund/Boden
     - 3.22 Rohstoffe
     - 3.23 Energie
     - 3.24 Arbeitsleistung

Diese Beispiele zeigen, daß die Zielsysteme unterschiedliches Aussehen haben, je nachdem, ob das Oberziel mehr das leistungsgerechte (d.h. mit zielgerechter Qualität, Quantität, zeitgerecht und kapazitätsgerecht agierende) Verkehrssystem fordert, oder ob die Aspekte der Bedarfsdeckung (d.h. günstige Auslastung, Kostendeckung, Eigenwirtschaftlichkeit, Rentabilität) hier zum Oberziel gemacht werden.

Es sind für die Investitionsplanung in der Verkehrspolitik auch Zielsysteme denkbar, die durch die Investitionsmaßnahmen in der Verkehrspolitik mehr auf eine Bedarfslenkung (Reglementierung, Beeinflussung der Verkehrsströme) als auf eine bloße Bedarfsdeckung abzielen.

Die Oberziele bilden auch die Richtschnur für die bei der Erstellung des Zielsystems vorzunehmende Strukturierung, Koordinierung, Prüfung auf Konsistenz und die Integration zu einem in sich geschlossenen Zielsystem. Ferner zeigen die Beispiele, daß bestimmte Ziele - vor allem auf niedrigeren Zielebenen - immer auftreten unabhängig vom jeweiligen Oberziel (z.B. Sicherheit, Bequemlichkeit, Massenleistungsfähigkeit...). Dadurch wird klar, daß die Zielsysteme der Verkehrsinvestitionsplanung unabhängig vom jeweiligen Oberziel sehr eng miteinander verflochten sind. In den Zielen auf niedrigen Zielebenen sind die Ebenen der Verkehrswertigkeit und Verkehrsaffinität immer enthalten. Das zeigt die große Bedeutung dieses Begriffspaares für die Verkehrspolitik. Unabhängig von der inhaltlichen Bedeutung des Zielsystems bewirkt die Tatsache, daß überhaupt ein Zielsystem vorhanden ist,

- eine gemeinsame Bewußtseinsbildung aller Beteiligten hinsichtlich der zu erreichenden Ziele,
- eine starke Betonung der formalen Komponente eines Zielsystems, die eine Überprüfung seiner Vollständigkeit, Geschlossenheit und Konsistenz erst ermöglicht.[1)]

3. Praxisorientierte Operationalisierung der Ziele

Bei der Erstellung eines Zielsystems muß es gelingen, dieses soweit zu untergliedern, daß daraus direkt Anforderungen und Aufgaben an die Systemkomponenten formuliert werden können. Das Zielsystem führt also letztlich zu Funktionen, die von den verschiedenen Systemkomponenten des Verkehrssystems erbracht werden sollen.
Ein Zielsystem für die Verkehrsinvestitionsplanung ist erst dann brauchbar, wenn es als Anforderung an das

---

1) Vgl. Dreger, W., Grundlagen der Systemtechnik (1), in: IBM-Nachrichten, 23.Jg. (1973), Heft 218, S.829

Verkehrssystem formuliert werden kann und sich daraus alternative Investitionsmaßnahmen ableiten lassen. Dazu müssen Indikatoren gefunden werden, die die Ziele wie z.B.

- Sicherstellen eines wirtschaftlichen Verkehrsablaufs ohne Engpässe und Stauungen,
- Verringerung der Umweltbelastung,
- Erhöhung der Verkehrssicherheit,
- Verbesserung der internationalen Verkehrsbeziehungen

in solchen Größen ausdrücken, die meßbar sind und in den meisten Fällen in technische Forderungen umgesetzt werden können.

Solche Indikatoren sind z.B.

- Ölverbrauch pro Person/km
- Ölverbrauch pro t Nutzlast/km
- Verkehrsaufkommen
- Bodenverbrauch
- Investitionskosten
- Betriebs- und Unterhaltungskosten
- Zeitaufwand
- Unfallkosten
- Streckenlänge

Nachdem es gelungen ist, aus den Zielvorstellungen alternative Lösungsmöglichkeiten (Investitionsalternative) abzuleiten, müssen die erarbeiteten Projektalternativen für die Investitionsentscheidung einer Bewertung unterzogen werden. Die Forderung nach einer solchen Bewertung setzt voraus, daß es Möglichkeiten (Verfahren) gibt, eine solche Bewertung als Entscheidungshilfe vorzunehmen. Es muß demnach Verfahren geben, die es uns gestatten, die Verkehrsleistung des bestehenden Verkehrssystems sowie des nach Realisierung von zusätzlichen Investitionsprojekten künftig erwarteten Verkehrssystems zu bewerten. Hierzu ist der

Einsatz mathematischer Methoden erforderlich, deren Anwendung vorhandene numerische Werte voraussetzt. Die Nutzwertanalyse ist hierfür ein wichtiges Instrument. Sie liefert Werte, die angeben, inwieweit durch alternative Investitionsmaßnahmen die Ziele jeweils erfüllt werden. Es ist mit ihren Methoden sicherlich möglich, mehr Ziele als bisher einer mathematischen Behandlung zugänglich zu machen. Dies ist fast immer möglich, denn wirtschaftspolitische und gesellschaftspolitische Ziele stehen meist mit wirtschaftlichen Größen in Beziehung und lassen sich auch durch solche ausdrücken.

Im folgenden sollen nun Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie die angestrebten Bewertungsverfahren erarbeitet werden können. Es wurde bereits dargelegt, daß die Bewertung technischer, ökonomischer oder personeller Aspekte jeweils unterschiedliche Anforderungen an die Bewertungsverfahren stellt.

III. Der Entwurf eines Bewertungsverfahrens für Verkehrsinvestitionen

1. Allgemeines

Bedeutende Arbeiten[1], die sich mit dem Qualitätsbegriff auseinandersetzen, gehen auf eine Arbeit von Wirz[2] zurück. In diesen Arbeiten wird die Qualität eines Gutes von seinem Zweck her bestimmt. Der Qualitätsbegriff von Abbot[3], der auf den Güterpreis zurückgeführt werden kann, ist für unsere Betrachtungen ungünstig. Dies ist sofort klar, wenn man berücksichtigt, auf welch verschiedene Weisen die Preise z.B. für eine Transportleistung entstehen.

Darüber, was der Begriff "Qualität" aussagt, herrscht nach wie vor keine Einstimmigkeit, denn der Begriff Qualität ist sehr vielfältig, da er sehr unterschiedliche Erfahrungsbereiche des Lebens berührt. Er ist Erfahrungsobjekt der verschiedensten Wissenschaften wie z.B. Psychologie, Soziologie, Sozialpsychologie, Wirtschaftswissenschaften, Naturwissenschaften, Medizin, Politik und Technik. Gesucht wird nun nach einem Kunstgriff, der es uns gestattet, das multidimensionale Phänomen Qualität zusammenzufassen.

---

1) Flick, F.K., Der Qualitätswettbewerb im marktwirtschaftlichen System, Wiesbaden 1966

Kawlath, A., Theoretische Grundlagen der Qualitätspolitik, Wiesbaden 1969

Klatt, S., Die ökonomische Bedeutung der Qualität von Verkehrsleistungen, Berlin 1965

Lohmöller, G., Theorie des Qualitätswettbewerbs, Diss. Bonn 1970

Rieger, H., Der Gütebegriff in der Theorie des Qualitätswettbewerbs, Berlin 1962

2) Wirz, W., Zur Logik des Qualitätsbegriffes, in: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik, Bd.104 (1915)

3) Abbot, L., Quality and Competition, New York 1955

Es erscheint zweckmäßig, hier eine Abgrenzung zwischen den Begriffen Qualität und Nutzen vorzunehmen. Qualität wird hier als ein Oberbegriff für eine Menge objektiver Eigenschaften (Merkmale/Attribute) eines Gutes aufgefaßt, die es ermöglichen, Unterscheidungsmerkmale gegenüber einem anderen Gut zu liefern. Während hier der Begriff Qualität noch mehr als objektive Eigenschaft gesehen wird, verstehen wir unter Nutzen die Qualität eines Gutes gemessen am Zielsystem eines sich entscheidenden (wertenden) Subjektes. Diese subjektive Bewertung berücksichtigt vor allem diejenigen Eigenschaften der Güter, mit denen sie die Bedürfnisse des bewertenden Subjektes befriedigen. Beim Begriff des Nutzens sind vor allem die folgenden Faktoren wichtig[1]:

- Der Begriff Nutzen ist an das wertende Individuum gebunden und enthält einen experimentell nicht nachprüfbaren Erlebnisinhalt dieses Subjektes.
- Der Begriff des Nutzens ist relativ. Er erfordert also stets das Vorhandensein mehrerer Alternativen. Ein absolutes Nutzenmaß gibt es nicht.
- Die Relativität des Nutzens bedeutet auch die Unabhängigkeit von Geld.

Mit diesem Nutzenbegriff muß die dem Verkehrssystem zuzuordnende Leistungsfähigkeit in Verbindung gebracht werden.

2. Die Nutzwertanalyse als Hilfsmittel für die quantitative Bewertung von Verkehrsinvestitionen

Die soeben getroffenen Feststellungen sind für unsere Analyse der Verkehrsleistung richtungweisend, und wir benutzen hierzu die Nutzwertanalyse als das für diesen Problembereich

1) Vgl. Menges, G., Grundmodelle wirtschaftlicher Entscheidung, Köln 1969, S.38 ff.

geeignete Instrument.[1] Sie "... ist die Analyse einer Menge komplexer Handlungsalternativen mit dem Zweck, die Elemente dieser Menge entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers bezüglich eines multidimensionalen Zielsystems zu ordnen. Die Abbildung dieser Ordnung erfolgt durch die Angabe der Nutzwerte der Alternativen."[2]

Zur Untersuchung des Nutzens (der Effizienz) einer Verkehrsinvestition muß folgendes vorliegen:

- Liste aller Eigenschaften des Verkehrssystems
- Liste aller direkten und indirekten Effekte (Wirkungen) des Verkehrssystems mit den Zeitpunkten ihres Wirksamwerden
- Liste aller Betroffenen mit Angabe der Beeinträchtigung durch das Verkehrssystem
- Liste der durch die betrachtete Investitionsalternative geänderten Eigenschaften des Verkehrssystems
- Liste der Effekte dieser Alternative mit Angabe des voraussichtlichen Zeitpunktes für ihr Eintreffen
- Liste der durch diese Alternative Betroffenen mit Angabe der entstehenden Vorteile und Nachteile

---

1) In dem bereits mehrmals zitierten Werk von Zangenmeister wird eine allgemeine Logik der Nutzwertanalyse entwickelt, und es werden alternative methodische Vorgehensweisen für die erforderlichen Schritte der Analyse aufgezeigt, so daß hier auf eine ausführlichere Darstellung verzichtet werden kann.
Siehe ferner dazu:
Melcher, J., Der öffentliche Nachrichtenverkehr der Bundesrepublik Deutschland, Bonn 1974.
In dieser Untersuchung wird ein Modell zur Analyse der ökonomischen Leistungsfähigkeit des Nachrichtenverkehrs auf der Basis der Nutzwertanalyse entwickelt. Das Literaturverzeichnis enthält vollständig die zum Problem der Nutzwertanalyse existierende Literatur.

Frerich, J., Melcher, J., Steinheuer, H., Die Methoden des Operations Research und ihre Anwendungsmöglichkeit auf die Investitionsplanung im Straßenbau, in: Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, 1974, Heft 159, S.59-74

2) Zangenmeister, Ch., a.a.O., S.45

Es sind also zunächst alle nennenswerten wichtigen Merkmale für den Entscheidungsprozeß ohne Rücksicht auf ihre Quantifizierbarkeit (Bewertbarkeit) festzustellen und aufzubereiten. Alle relevanten Beziehungszusammenhänge sind vollständig zu erfassen, und die Bestimmungsfaktoren für diese Zusammenhänge sind prinzipiell darzulegen. Dazu ist das bestehende Verkehrssystem systematisch zu erfassen und zu analysieren.

Die Eigenschaften des Verkehrssystems hängen von sehr vielen Bestimmungsfaktoren (Indikatoren) ab, z.B. technische, soziale, psychische und ökonomische, die zunächst durch viele Einzelwissenschaften erforscht werden ohne interdisziplinäre Zusammenhänge. Eine weitere Schwierigkeit liegt in der Zuordnung von Eigenschaften des Verkehrssystems zu den einzelnen Bestimmungsfaktoren, da manche sich gegenseitig unterstützen, ersetzen oder ausgleichen können. Es müßten also Teilwirkungen (Teileffekte) erfaßbar sein. Neben der Tatsache, daß die Komponenten des Verkehrssystems in komplementärer, substitutiver oder kompensatorischer Beziehung stehen, ist zu berücksichtigen, daß zwischen den Verkehrsinvestitionsentscheidungen, der Durchführung und schließlich der Erkennbarkeit der vollen Auswirkungen erhebliche Zeitintervalle liegen.

Zur vollständigen Ermittlung der gesamtgesellschaftlichen und gesamtwirtschaftlichen Vorteile geplanter Einzelprojekte müssen ihre Auswirkungen (Effekte) und die voraussichtlich eintretenden Veränderungen der Systemeigenschaften prognostiziert werden. Hat man mehrere Investitionsalternativen zu untersuchen, so ist ein Auswahlmechanismus (eine Entscheidungsregel) aufzustellen. Da nicht alle Folgewirkungen finanzieller oder technischer Art sind, besteht das Problem der Bewertung qualitativer Güter durch verschiedene Betroffene.

Beim Messen und Bewerten im physikalischen Sinne ist das zu messende Objekt mit einer vorhandenen Maßeinheit zu vergleichen. Dabei wird festgestellt, wie oft diese Maßeinheit in der zu messenden Größe enthalten ist. Hierbei können nur kardinale Meßverfahren verwendet werden. Dem entscheidenden Menschen wird die Rolle eines Meßinstrumentes aufgezwungen. Der Nutzwertanalyse liegt ein weitgefaßter Begriff des Messens zugrunde, denn sie beinhaltet neben dem physikalischen Messen auch die Begriffe des Schätzens und Bewertens. Geschätzte Werte beruhen meist auf unsicheren Aussagen über die Zukunft. Beim Bewerten werden einem Objekt subjektive Momente beigelegt.

Als erstes müssen also Skalen betrachtet werden, an Hand derer eine Bewertung möglich ist.

Im wesentlichen unterscheidet man drei Typen von Skalen:
- Nominalskalen
- Ordinalskalen
- Kardinalskalen.

Es soll nun das Wesentliche über diese drei Skalierungsmethoden herausgearbeitet werden, um aufzuzeigen, welche Möglichkeiten hieraus für eine Verbesserung der Investitionsplanung gewonnen werden können.

Nominalskalen erlauben die schwächste Form der Messung. Hierbei ist es zunächst nur möglich, die Eigenschaften (Merkmale) des Untersuchungsgegenstandes zu betrachten. Die Messung besteht aus der Feststellung, ob zwei oder mehrere Unterscheidungsmerkmale des betrachteten Objektes in die gleiche Klasse oder in verschiedene Klassen eingeordnet werden können. Die Klassen sind meist verbal gekennzeichnet. Sind statt der verbalen Benennung den Klassen Zahlen zugeordnet, so dürfen diese Zahlen nur als Unterscheidungsmerkmale benutzt werden, nicht jedoch als eine gegebene Rangordnung.

Ordinalskalen gestatten es, Rangfolgen für die Merkmale aufzustellen. Mit Hilfe von vorgegebenen Regeln ist es dann möglich, komparative Urteile abzugeben. Das ordinale Messen baut auf der kardinalen Meßmethode auf, bietet jedoch neben der Feststellung der Gleichheit oder Ungleichheit von Merkmalen (neben dem Benennen) die Möglichkeit, die Richtung für die Verschiedenheit (eine Ordnung innerhalb der Benennungen) anzugeben. Werden bei den Ordinalskalen Zahlen verwendet, so kann man hierbei lediglich die Eigenschaft benutzen, daß eine Zahl sich von der anderen in ihrer Reihenfolge unterscheidet. Es sind hier noch keine arithmetischen Zahleneigenschaften verwendbar.

Kardinalskalen ermöglichen die stärkste Form des Messens. Sie bauen auf den Ordinal- und Nominalskalen auf, benutzen aber darüber hinaus die Additivitätseigenschaft von Zahlen. Es können quantitative Urteile abgegeben werden auf Grund der Betrachtung quantitativer Merkmale des Untersuchungsgegenstandes.

Man unterscheidet hierbei noch weiter nach Intervallskalen und Verhältnisskalen.

Mit Hilfe von Intervallskalen können neben einer Rangfolge (Ordnung) für die Merkmale auch Abstände zwischen den Merkmalen ermittelt (bestimmt) werden. Der Nullpunkt und die Maßeinheit sind bei dieser Art des Messens frei wählbar. Intervallskalen können beliebig linear transformiert werden. Mit Hilfe der Intervallskalierung können nicht Zielwerte (Nutzengrößen) miteinander verglichen werden, sondern vielmehr führt der Vergleich von Zielwert-/Nutzendifferenzen zu sinnvollen Aussagen.

Die Verhältnisskalen haben neben allen genannten Eigenschaften der bisher aufgeführten Skalen die Eigenschaft der Additivität von Meßwerten. Sie gestatten damit ein Höchstmaß an

Isomorphie zwischen den zugeordneten Zahlen und den zu messenden Eigenschaften. Der Nullpunkt muß eindeutig festgelegt sein. Eine multiplikative Transformation, durch die die Maßeinheit beliebig festlegbar ist, ist erlaubt, da das Verhältnis der Meßwerte hierbei unverändert bleibt. Besonders günstig ist das Vorliegen eines immanenten Nullpunktes.

3. Erarbeitung einer Entscheidungsregel[1)]

Sind n verschiedene Alternativen bezüglich r verschiedener Kriterien zu beurteilen, muß eine Entscheidungsregel gefunden werden, die diese verschiedenen Einzelbewertungen zu einer einzigen Bewertung zusammenfaßt. Diese Entscheidungsregel muß so aufgebaut werden, daß sie der zu treffenden Entscheidung entspricht.

Den folgenden allgemeinen Kriterien sollte eine Entscheidungsregel genügen:

- Vollständigkeit: Aus jeder möglichen Bewertung der einzelnen Kriterien ist eine Gesamtbewertung herstellbar.
- Transitivität: Ist die Alternative A nützlicher als die Alternative B und B nützlicher als C, dann gilt auch: A ist nützlicher als C.
- Unabhängigkeit: Wenn die Alternative A besser ist als die Alternative B, so bleibt dies auch gültig, wenn weitere Alternativen mit in die Betrachtung einbezogen werden, oder wenn eine andere Alternative ausscheidet.
- Monotonie: Ist A bezüglich eines Kriteriums besser als B, sonst aber gleich, so ist A mindestens gleichwertig mit B oder aber besser.

---

1) Siehe dazu: Altmann, E., Nutzwertanalyse, in: Lehrgangsunterlagen der Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung (GMD), Bonn 1974

- Surjektivität: Es muß zwischen Alternativen jede Wertreihenfolge möglich sein.
- Abhängigkeit der Entscheidung von allen Kriterien: Ein bestimmtes Kriterium darf nicht den Gesamtnutzen einer Alternative bestimmen.
- Unabhängigkeit von einer Vergröberung der Menge der Kriterien: Die Aussage'A ist besser als B' muß auch nach einer Vergröberung der Kriterienmenge noch gelten.

Es fällt schwer, Entscheidungsregeln zu finden, die allen genannten Kriterien genügen.

Eine Entscheidungsregel (die Simonregel) innerhalb einer nominalen Präferenzordnung erhält man durch die Bildung von zwei Klassen, wovon die erste Klasse alle Alternativen enthält, die bezüglich aller Kriterien genügend nützlich sind. Zur zweiten Klasse gehören die Alternativen, die sich bezüglich mindestens eines Kriteriums als unbefriedigend darstellen. Diese Regel führt zu keiner Entscheidung, wenn keine oder mehrere Alternativen vorhanden sind, welche in die erste Klasse gehören.

Innerhalb einer ordinalen Präferenzordnung gibt es einige Entscheidungsregeln, die jedoch nicht alle genannten allgemeinen Kriterien erfüllen. Einige sollen hier kurz aufgeführt werden.

Die Majoritätsregel ("Eine Alternative A ist insgesamt besser als eine Alternative B, wenn sie bezüglich der Mehrheit der Kriterien besser eingestuft wurde.") erfüllt nicht das Kriterium der Transitivität.

Die Copelandregel und die Austin-Slight-Regel vergleichen jede Alternative mit jeder anderen Alternative. Die bei diesem Vergleich als nützlicher erkannte Alternative erhält einen Pluspunkt, die andere dagegen einen Minuspunkt. Durch die Summierung der Punkte erhält man eine

Rangordnung für die Alternativen. Diese Punktsummen können zusätzlich noch mit Kriteriengewichten multipliziert werden.
Diese Regeln erfüllen nicht das Kriterium der Unabhängigkeit von einer Vergröberung der Menge der Kriterien.

Nach der Rangordnungssummenregel, die für jede Alternative die Summe über die Rangziffern bildet, wird die Alternative, deren Summe am kleinsten ist, als die beste eingestuft.
Diese Regel wird wegen ihrer Operabilität in der Praxis häufig angewandt.

Bei kardinalen Präferenzordnungen besteht die große Schwierigkeit, sowohl die Skaleneinheiten als auch den gemeinsamen Nullpunkt für alle Skalen der verschiedenen Präferenzordnungen so festzulegen, daß die einzelnen Zielwerte absolut vergleichbar werden und zusammengefaßt werden können. Aus dem Bereich der kardinalen Präferenzordnungen sollen noch folgende Regeln genannt werden.

Nach der Pessimismusregel hat eine Alternative dann den höchsten Nutzwert, wenn ihr minimaler Wert bezüglich der Kriterien zu den übrigen Alternativen ein Maximum ist.

Die Optimismusregel schreibt der Alternative den höchsten Nutzwert zu, deren maximaler Wert bezüglich der Kriterien zu den übrigen Alternativen ein Maximum ist.

Das folgende Beispiel[1)] zeigt die Problematik der Anwendung der genannten Entscheidungsregeln.

---

1) Krelle, W., Präferenz- und Entscheidungstheorie, Tübingen 1968

Die Auswertung der folgenden Tabelle mit den verschiedenen Entscheidungsregeln

Alternative \ Kriterium	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6
A_1	1	3	3	2	2	4
A_2	2	4	1	3	3	2
A_3	3	2	2	4	4	1
A_4	4	1	4	1	1	3

führt zu folgenden Ergebnissen:

Majoritätsregel: $A_1 > A_2 > A_3 \sim A_4 > A_1$

Rangsummenregel: $A_4 > A_1 \sim A_2 > A_3$

Optimismusregel: $A_4 > A_1 \sim A_2 > A_3$

Pessimismusregel: $A_1 \sim A_2 > A_3 > A_4$

Copelandregel: $A_1 > A_2 \sim A_3 > A_4$

Austin-Slight-Regel: $A_4 > A_1 \sim A_2 > A_3$

Dabei bedeuten:

$A_i > A_j$ Alternative A_i ist nützlicher als Alternative A_j.

$A_i \sim A_j$ Alternative A_i ist genau so nützlich wie Alternative A_j.

Die Optimismusregel führt zur Entscheidung für eine solche Alternative, die in irgendeiner Hinsicht besonders hervorragend ist. Die Pessimismusregel führt zu der Handlungsalternative, die als das "geringste Übel" erscheint.

Im Gegensatz dazu trägt die Simonregel der Forderung Rechnung, daß das Gesamtziel nur dann erreicht ist, wenn die Mindestanforderungen bezüglich aller Kriterien durch die untersuchte Alternative alle gleichzeitig erfüllt werden. Diese Regel erfordert vom Entscheidungsträger, daß er sich über die Mindestanforderungen klar wird und im Entscheidungsprozeß notfalls weitere Alternativen betrachtet, falls keine der bis dahin betrachteten Alternativen allen Mindestanforderungen genügt.

Zur Verwendung in der verkehrspolitischen Investitionsplanung soll im folgenden eine Entscheidungsregel erarbeitet werden.

Wir betrachten eine endliche Menge von Investitionsalternativen $A_1, A_2, \ldots, A_m$.
Seien $K_1, \ldots, K_n$ die Kriterien für die Bewertung jeder der betrachteten Investitionsalternativen $A_1, A_2, \ldots, A_m$.
Seien $W_1, \ldots, W_n$ die Bewertungen bezüglich der Kriterien $K_1, \ldots, K_n$.
Setzt man festgelegte Skalen voraus derart, daß die $W_1, \ldots, W_n$ nur Werte zwischen 0 und 1 annehmen, und vernachlässigt man die Tatsache, daß verschiedene Kriterien unterschiedliche Gewichte haben, so wird jede Alternative $A_1, A_2, \ldots, A_m$ durch einen Wertvektor charakterisiert. Man erhält also einen Punkt in einem n-dimensionalen Werte-Raum.

Die Entscheidungsregel in diesem Falle lautet, daß alle Alternativen, deren Punkte im n-dimensionalen Werteraum den gleichen "Abstand" vom Ursprung haben, als gleichwertig angesehen werden können. Je größer der Abstand vom Nullpunkt ist, um so nützlicher ist die betrachtete Alternative.

Von den vielen in der Mathematik bekannten Abstandsbegriffen sollen hier nur einige genannt werden, deren Verwendung hier möglich erscheint.

$$d_1 = W_1 + W_2 + \ldots\ldots + W_n$$

$$d_2 = \sqrt{W_1^2 + W_2^2 + \ldots\ldots + W_n^2}$$

$$d_\infty = \max (W_1, W_2, \ldots\ldots, W_n)$$

Maximiere d_∞ ergibt z.B. die bereits erwähnte Optimismusregel.

Eine andere Möglichkeit, Entscheidungsregeln aufzustellen, bietet sich, wenn man an Stelle des Abstandes vom Nullpunkt den Abstand vom Punkte (1, 1, ..., 1) (Idealziel) betrachtet.
Hierbei könnten z.B. folgende Abstandsbegriffe betrachtet werden:

$$\bar{d}_1 = (1-W_1)+(1-W_2)+ \ldots + (1-W_n)$$

$$\bar{d}_2 = \sqrt{(1-W_1)^2 + (1-W_2)^2 + \ldots + (1-W_n)^2}$$

$$\bar{d}_\infty = \max (1-W_1, 1-W_2, \ldots\ldots, 1-W_n)$$

Minimiere $\bar{d}_\infty$ ergibt hier die erwähnte Pessimismusregel.

Die Regeln: Maximiere d_1 und minimiere $\bar{d}_1$ führen zu den gleichen Ergebnissen, da

$W_1 + W_2 + \ldots\ldots + W_n$ dort maximal wird, wo
$(1-W_1) + (1-W_2) + \ldots + (1-W_n)$ minimal wird.

Die eben dargelegte Entscheidungsregel berücksichtigt jedoch wichtige Probleme, die bei der Investitionsplanung in der Verkehrspolitik auftreten, noch nicht.
Neben individuellen Bewertungen von Alternativen durch verschiedene Personen, die am Entscheidungsprozeß beteiligt sind, muß die Entscheidungsregel auch die unterschiedliche Gewichtung von Zielen und Kriterien berücksichtigen können.

Um zu diesen Wertungen und Gewichtungen zu gelangen bzw. um die individuellen Bewertungen zu objektivieren, werden meist statistische Hilfsmittel benutzt. Hier ist jedoch große Vorsicht geboten, da erst überprüft werden muß, ob die Voraussetzungen für die Anwendung statistischer Methoden gegeben sind. Es ist z.B. sehr fraglich, ob Bewertungen verschiedener Personen tatsächlich voneinander unabhängig sind und ob die vorhandenen Schwankungen tatsächlich zufällig sind.
Ferner ist es manchmal notwendig, die Nutzwerte bezüglich eines Kriteriums auf ein anderes zu übertragen (Substituierbarkeit). Hierzu müssen Umrechnungsfaktoren gefunden werden, die es gestatten, Nutzwerte bezüglich eines Zieles in solche bezüglich eines anderen Zieles zu übertragen.

Ein weiteres Problem ist die Erarbeitung der Mindestanforderungen bezüglich bestimmter Kriterien. Diese Mindestanforderungen können je nach Beurteilungssituation und nach Beurteilungsperson sehr verschieden sein. Damit die Mindestanforderungen als Filter bei Entscheidungen herangezogen werden können, müssen sie mittels meßbarer Kriterien beschrieben sein.

Wir können auch nicht ohne weiteres annehmen, daß jede Handlungsalternative bezüglich eines jeden Kriteriums einen bestimmten Nutzen hat, falls diese Alternative gewählt wird. In Wirklichkeit sind wegen der Unsicherheit der Zukunft und der sich oft rasch wandelnden Sollvorstellungen eine Reihe verschiedener Umweltsituationen denkbar.

Für die Investitionsplanung in der Verkehrspolitik sind die folgenden Dimensionen sehr wesentlich:

- die Zustandsmerkmale für das bestehende Verkehrssystem
- die bewertenden Personen
- die sich wandelnde Umwelt.

Wenn n die Anzahl der möglichen Zustandsmerkmale, r die Anzahl der bewertenden Personen und t die Anzahl möglicher Umweltsituationen, dann sind n·r·t Einzelwertungen durchzuführen, um schließlich über eine Investitionsalternative das zusammenfassende Urteil abgeben zu können, daß keine andere Alternative gegenüber der ausgewählten meßbare Vorteile liefert. Eine solche Aussage ist auch dann wertvoll, wenn die konkrete Angabe des tatsächlichen Nutzwertes nicht möglich ist.

Man bewertet in der Investitionsplanung Handlungsalternativen derart, daß man die durch die Investitionsmaßnahme bewirkte Veränderung des Ist-Zustandes zu einem Soll-Zustand einer Bewertung unterzieht.
Da bei dieser Bewertung der Ist-Zustand des Verkehrssystems wesentlich mitberücksichtigt werden muß, wurde unter A.II.4 eine Möglichkeit zur Beschreibung des Ist-Zustandes erarbeitet.

In der Verkehrspolitik haben wir ferner das Problem, daß die Entscheidungsträger und die Betroffenen verschiedene Personen sind. Man muß darauf achten, daß der Zufriedenheitsgrad der Betroffenen nicht direkt das Entscheidungskriterium für den Entscheidungsträger als Betroffenen seiner eigenen Entscheidung ist. Es ist sehr schwierig zu klären, inwieweit der Zufriedenheitsgrad der Betroffenen auf die Ziele des Entscheidungsträgers einwirkt.

Eine Schwäche der Nutzwertanalyse liegt darin, daß die betrachteten Handlungsalternativen nicht konkret sondern nur

fiktiv vorliegen und somit die Nutzwerte der Handlungsalternativen lediglich Hypothesen darstellen. Damit entsteht die Gefahr, daß man die in die Entscheidungsfindung eingehenden Parameter solange verändert, bis die eigene Alternative als die beste erscheint.

Um eine wirtschaftliche Durchführung der Nutzwertanalyse sicherzustellen, soll im Entscheidungsprozeß nur noch das weiter betrachtet werden, was für die Entscheidung noch relevant sein könnte. Irrelevante Ziele (Kriterien) sollen möglichst frühzeitig eliminiert werden.
Damit ist z.B. das Gewichten von Zielen zu Beginn des Analyseprozesses unwirtschaftlich. Das heißt aber auch, je höher die Mindestanforderungen sind, um so weniger mögliche Handlungen kommen als Alternativen in Frage.

Die Nutzwertanalyse geht davon aus, daß das Verhalten der Umwelt zwar die Entscheidung beeinflußt, vernachlässigt aber den Einfluß der Entscheidung auf das Verhalten der Umwelt.

Dieser Abschnitt dürfte gezeigt haben, daß die Nutzwertanalyse trotz aller Probleme und Schwächen Möglichkeiten bietet, die Investitionsplanung in der Verkehrspolitik wesentlich zu unterstützen. Wenn mit ihrer Hilfe auch keine Optimierung im mathematischen Sinne durchgeführt werden kann, so ist es doch möglich, ein multidimensionales Zielsystem und subjektive Wertungen bei der Entscheidung zu berücksichtigen. Bei der Anwendung der Nutzwertanalyse bleibt das politische Element im Entscheidungsprozeß erhalten.

4. Die Kosten-Nutzen-Analyse als Planungsinstrument

Ein weiteres Kriterium für die Auswahl einer bestimmten Alternative, die Kosten-Nutzen-Analyse, sollte auf alle Fälle soweit als möglich benutzt werden, obwohl sie, wie wir bereits unter A.III.5 festgestellt haben, als alleinige Entscheidungshilfe nicht geeignet ist. Die Kosten-Nutzen-Analyse beruht auf dem ökonomischen Prinzip[1], das am häufigsten auf zwei Arten formuliert wird:

- als Maximumprinzip, d.h. mit den vorgegebenen Einsatzmitteln den höchst erreichbaren Nutzen zu erzielen,
- als Minimumprinzip, d.h. ein vorgegebenes Zielsystem mit einem geringst möglichen Mittelaufwand zu erreichen.

Das ökonomische Prinzip beinhaltet zwar ein Streben nach Optimierung, trotzdem ist die auf diesem Prinzip beruhende Kosten-Nutzen-Analyse für unsere Zwecke alleine nicht geeignet. Für die verkehrspolitische Praxis ist es meist zu aufwendig, alle in Frage kommenden Handlungsalternativen zu untersuchen, zu bewerten und dann miteinander zu vergleichen, um danach die beste Alternative auszuwählen. Diese Art des Vorgehens widerspräche wiederum dem ökonomischen Prinzip (der Mitteleinsatz muß in einem sinnvollen Verhältnis zum erreichbaren Ergebnis stehen). Die Investitionsplanung sollte vielmehr das "Prinzip der direkten Bewertung von Alternativen" benutzen, das Zangenmeister folgendermaßen formuliert: "Wähle aus der Menge der zur Wahl stehenden Alternativen diejenigen aus, deren Konsequenzen vergleichsweise am höchsten zu bewerten sind."[2] Hierbei bleibt es dem Entscheidungsträger erspart, das gesamte

---

1) Siehe dazu: Gäfgen, G., Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung, 2.Aufl., Tübingen 1968

Dworatschek, S., Donike, H., Wirtschaftlichkeitsanalyse von Informationssystemen, Berlin, New York 1972

2) Zangenmeister, Ch., a.a.O., S.57

Spektrum der theoretisch möglichen Handlungsalternativen zu betrachten. Dies wäre unzweckmäßig, denn den auf die Zukunft gerichteten Investitionsentscheidungen liegen geschätzte, prognostizierte, also unsichere Daten bzw. Informationen zugrunde. Trotz der angegebenen Schwächen soll auf die Kosten-Nutzen-Analyse als Planungsinstrument nicht verzichtet werden. Sie liefert entscheidungsrelevante Daten und dies vor allem dann, wenn neben den direkten Kosten und direkten Nutzen auch indirekte Kosten und indirekte Nutzen erfaßt und in die Analyse einbezogen werden.[1)]
Da diese indirekten Kosten und Nutzen nicht ohne weiteres meßbar und bewertbar sind, werden sie meist nur als Merkposten bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt.

Die Kosten-Wirksamkeits-Analyse[2)] verzichtet auf eine rein monetäre Bewertung aller Effekte und versucht, da sie eine Bewertung mit natürlichen Maßstäben und damit die Berücksichtigung außerökonomischer Ziele zuläßt, den Schwächen der Kosten-Nutzen-Analyse zu begegnen. Die Kosten-Wirksamkeits-Analyse ist insofern problemgerechter, als sie nicht die unterschiedlichen Dimensionen, in denen die Nutzenkomponenten auftreten, zwingend auf monetärer Basis zu vereinheitlichen sucht.

5. Der Einsatz der Methoden des Operations Research

Erst wenn das Problem der Investitionsentscheidung einen gewissen Reifegrad erreicht hat, geht man dazu über, ein optimales Aktionsprogramm (eine optimale Strategie) zu

---

1) Siehe dazu: Frerich, J., Melcher, J., Steinheuer, H., a.a.O.

2) Siehe dazu: Meyke, U., Cost-Effectiveness-Analysis als Planungsinstrument unter besonderer Berücksichtigung von Infrastrukturinvestitionen im Verkehr, in: Forschungen aus dem Institut für Verkehrswissenschaft an der Universität Münster, Heft 16, Göttingen 1973

erstellen. Hierfür hält OR Methoden bereit, die im einzelnen bereits dargestellt wurden.[1] OR kann dort angewendet werden, wo zwischen einer besseren und einer schlechteren Investitionsentscheidung unterschieden werden kann, d.h. es müssen bereits eine Reihe von quantifizierten Grundlagen (Daten) vorhanden sein, ehe man OR-Verfahren zur Lösung des Investitionsproblems heranziehen kann. Unter dieser Voraussetzung allerdings sind die OR-Verfahren theoretisch in der Lage, für alle denkbaren Kosten- und Nutzenkriterien exakte Vergleichsrechnungen durchzuführen. Die bisher fehlende Verwendung in der Praxis ist auf das mangelhafte Grundlagenwissen zurückzuführen, denn die großen Zusammenhänge und Abhängigkeiten innerhalb des Verkehrssystems und der seine Leistung beeinflussenden Investitionsplanung sind bisher nicht genügend untersucht worden und somit auch nicht ausreichend eindeutig bekannt.[2] Hierin liegt auch die Ursache dafür, daß die Optimierungsverfahren des OR bisher fast nur zur Lösung von Teilproblemen verwendet wurden und nie in Bezug auf große Systemzusammenhänge. So wurden z.B. bisher funktionstüchtige Modelle für eine optimale Lagerhaltung, Modelle für die Lösung von Transportproblemen (Minimierung von Transportkosten und Transportwegen) unter Berücksichtigung des Faktors Zeit und des Faktors Kosten entwickelt.

Es ist klar, daß bei der Lösung spezieller Probleme mit Hilfe von OR auch allgemeingültige Erkenntnisse gewonnen werden konnten und folglich dabei für gewisse Problemtypen und nicht nur für spezielle Einzelprobleme Optimierungsverfahren gefunden wurden. Die Ausdehnung einer Lösungsmethode

---

1) Siehe dazu: Rutsch, M., Entscheidungskriterien - Hilfe oder Hindernis beim Handeln, in: Proceedings in Operations Research, Vorträge zur Jahrestagung DGU 1971, Würzburg, Wien 1972, S.59-77

2) Siehe dazu: Droste, M., Unternehmensforschung im Straßenverkehr, in: 8.DGU-Jahrestagung, Böblingen, September 1969

für ein eng abgegrenztes spezielles Problem auf ein komplexeres Problem macht jedoch meist eine Vereinfachung des komplizierten Systems notwendig. Hier besteht die Gefahr, daß das komplexe System soweit vereinfacht wird, daß das dann anzuwendende Optimierungsverfahren nichts mehr aussagt. Trotz begrenzter Möglichkeiten der OR-Verfahren und der Gefahren, die falsche Anwendungen mit sich bringen, kann hier festgestellt werden, daß die bisherigen OR-Methoden eine Reihe von Möglichkeiten bieten, die Schwierigkeiten der Investitionsplanung - die Suche nach einer optimalen Lösung - zu verkleinern.

Die Methoden des OR gestatten die Berücksichtigung folgender Faktoren, denen die traditionellen Planungsansätze nicht oder nur in sehr geringem Maße nachkommen können:

- Interdependenz
  Investitionsentscheidungen erzeugen ein ganzes Bündel von Einflüssen auf die verschiedensten Bereiche unseres Lebens.
- Umwelt
  Die Auswirkungen von Investitionen im Verkehr hängen in sehr starkem Maße ab von der Umgebung, in welcher die Investitionen vorgenommen werden.
- Zeit
  Der Nutzen einer Investition wird durch den Faktor Zeit in zweierlei Hinsicht beeinflußt. Erstens tritt die Wirkung einer Investition nicht schlagartig zu einem bestimmten Zeitpunkt auf, sondern die Wirkung tritt erst, durch timelags verschoben, kumulativ auf. Zweitens befindet sich die Umwelt in stetigem Wandel.
- Unsicherheit
  Jede Investitionsentscheidung schließt das Risiko des Mißerfolges ein, da sie auf die Zukunft gerichtet

ist und Unsicherheit darüber besteht, ob die erwartete Reaktion, auf die die Investitionsentscheidung abzielt, auch tatsächlich eintrifft.

- Mensch
  Der Faktor 'Mensch' beinhaltet wohl das größte Problem in der Investitionsplanung, da Investitionsentscheidungen im Verkehr in sehr starkem Maße auf das künftige Verhalten des Menschen abzielen.

Die Methoden des OR können den eben aufgezählten Schwierigkeiten am besten gerecht werden, da erst sie es gestatten, flexibel zu planen. Die dynamischen Modelle, die die Zeit explizit als Variable berücksichtigen, und die stochastischen Modelle, die Wahrscheinlichkeiten berücksichtigen, sind die Grundlage für eine flexible Investitionsplanung[1], die gewährleistet, daß zu Beginn eines Planungszeitraumes eine Aktion als optimal ausgewiesen wird, die einen optimalen Entscheidungsspielraum für spätere Aktionen bietet - also die Elastizität optimal festlegt. Die durch die Verfahren des OR erst möglich gewordene flexible Investitionsplanung wird dem dynamischen Charakter der Investitionsentscheidungen am besten gerecht, denn es handelt sich um Planungsprozesse, bei denen es unzweckmäßig wäre, gleich zu Beginn die künftigen Aktionen endgültig und unwiderruflich festzulegen. Kriterien für die Anwendung von OR-Modellen bei Entscheidungen über regionale Verkehrsinvestitionen befinden sich bei Ahner.[2]

Es soll an dieser Stelle noch gesagt werden, daß die Methoden des OR bei betriebswirtschaftlichen Investitionsent-

---

1) Zum Problem der flexiblen Investitionsplanung siehe:
   Laux, H., a.a.O.
   Jacob, H., Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der Linearprogrammierung, Wiesbaden 1971

2) Ahner, H., Kriterien der Anwendung von Operations-Research-Modellen bei Entscheidungen über regionale Verkehrsinvestitionen, Diss. Mannheim 1969

scheidungen bereits einen festen Platz einnehmen. Es bestehen aber Ähnlichkeiten zwischen einem großen Wirtschaftsunternehmen und der öffentlichen Verwaltung. Somit sollte OR auch hier verwendet werden. Ehe die von OR bereitgestellten Verfahren auch in der Politik sinnvoll und nutzbringend eingesetzt werden können, müssen sich die Politiker mit den theoretischen Grundlagen dieser für sie unerläßlichen Disziplin vertraut machen. Bisher herrschte hierüber noch große Unkenntnis, was zu falschen Erwartungen bezüglich des Leistungsvermögens der OR-Methoden führte. Eine bessere Kenntnis wäre auch deshalb wünschenswert, weil die Politiker Entscheidungen darüber zu treffen haben, welche Forschungsarbeiten ausgewählt und unterstützt werden, damit hier nicht die Forschung in Richtungen vorangetrieben wird, die für die Praxis wenig ergiebig sind. Aus dieser Untersuchung dürfte wohl klar hervorgehen, daß vor allem die interdisziplinäre Forschung unbedingt vorangetrieben werden muß. Andernfalls werden wir in den einzelnen Wissenschaftsdisziplinen hochentwickelte Theorien erhalten, die sich ohne Bezug zur Realität immer weiter auseinander bewegen und für die Praxis immer weniger aussagen. Soll es doch das Ziel jeder angewandten Realwissenschaft sein, dem Menschen Hilfsmittel für die Bewältigung seiner Lebensaufgaben bereitzustellen. Dieses Hilfsmittel ist in der Regel zweckorientierte Information, die auf unterschiedliche Art und Weise verwendet wird:

- Zur wissenschaftlichen Erklärung, d.h. warum und auf welche Weise bestimmte Zustände der Vergangenheit und Gegenwart entstanden sind,
- zur Prognose, d.h. um Aussagen über die Konsequenzen alternativer Handlungen in der Zukunft zu liefern,
- zur optimalen Entscheidungsfindung, d.h. um aus sich gegenseitig ausschließenden Handlungsalternativen diejenige auswählen zu können, die der Zielvorstellung am besten entspricht.

6. Hilfsmittel aus der Theorie der Verkehrswirtschaft

Das technische Denken innerhalb eines abgeschlossenen Systems verleiht eine gewisse Sicherheit für eine optimale Planung, vermag aber, wie wir bereits erwähnt haben, nicht alleine unser Investitionsproblem zu lösen. Ganz wesentliche Fortschritte für eine theoretische Erklärung des Phänomens 'Verkehr' wurden von Voigt[1] gemacht, der das Problem aus ökonomischer Sicht anging und untersuchte, wie Veränderungen des Verkehrssystems gesamtwirtschaftliche und soziale Prozesse induzieren. Auf die soziale Bedeutung von Verkehrsinvestitionen wurde bereits hingewiesen. Gerade diese Tatsache darf keine Investitionsplanung vernachlässigen. Soziale Systeme sind aber, verglichen mit technischen (naturwissenschaftlichen) Systemen, sehr viel komplexer. Die wichtigste Ursache dafür ist der Mensch, denn dieser handelt nicht ausschließlich im Sinne naturgesetzlicher Zwänge. Ferner ist sein Verhalten nicht immer rational, was dazu führt, daß er sich unter gleichen Bedingungen an anderen Orten zu unterschiedlichen Zeiten völlig verschieden verhalten kann. Gerade diese Tatsache wurde in der Theorie der Verkehrswirtschaft besonders stark herausgearbeitet und formuliert in dem Kapitel "Verkehrsmärkte".[2] Die in diesem Kapitel in verschiedenen Modellen vorkommenden Determinanten der Nachfrage nach Verkehrsleistung und des Angebots von Verkehrsleistung sollen hier kurz aufgeführt werden. Zur besseren Übersicht zerlegen wir die Menge MD der Determinanten in Teilmengen $MD_1,\ldots,MD_{10}$ nach folgenden Gesichtspunkten:

---

1) Voigt, F., Verkehr, Erster Band, Erste und zweite Hälfte, Berlin 1973

2) Voigt, F., Verkehr, Erster Band, Erste Hälfte, Berlin 1973, S.235 ff.

MD_1 enthält die Determinanten, die durch die Individualsphäre des Nachfragenden bestimmt sind.

MD_2 enthält die Determinanten der wirtschaftlichen Struktur.

MD_3 enthält die Determinanten der räumlichen Struktur.

MD_4 enthält die Determinanten der Bevölkerungsstruktur.

MD_5 enthält die durch die Verkehrsmittel bedingten Determinanten (Verkehrswertigkeit).

MD_6 enthält die durch das zu transportierende Gut bedingten Determinanten (Affinität).

MD_7 besteht aus den Determinanten: Kosten, Preise, Tarife.

MD_8 enthält die Determinante Zeit.

MD_9 enthält die durch Unternehmerinteressen bedingten Determinanten.

MD_{10} enthält die sonstigen Determinanten.

Die einzelnen Teilmengen $MD_1,\ldots,MD_{10}$ enthalten folgende Elemente:

$MD_1 :=$ {Lebensalter, Geschlecht, Familienstand, Bildungsstand, Beruf, Gesundheit, Lebensstandard, Charaktereigenschaften (Mitläufer, Snob, Prestigedenken, Angst, Selbstbewußtsein, Selbsteinschätzung, Gewohnheiten, Präferenzen, Reisefreudigkeit, Kontaktfreudigkeit, Bequemlichkeit), Einkommen, Konsumbedürfnis, Sparneigung}

$MD_2 :=$ {Volkseinkommen, Pro-Kopf-Einkommen, Einkommensverteilung, Anteil der Konsumsumme am Einkommen, Sozialprodukt, Industrieumsatz, Industrieauftragsbestand, Industrialisierung, Arbeitsverteilung des Marktes, Markttransparenz, Arbeitsproduktivität,

Arbeitsmarkt, Anzahl der Unternehmen, Anzahl der Betriebe, Anzahl der Filialen und Niederlassungen, Export, Import, Investitionstätigkeit, Liquidität, Konjunktur, Marktstrategie, Produktion, Produktionsentwicklung, Produktionstechnik, Preiswettbewerb, wirtschaftliches Wachstum, Wirtschaftsstruktur, Automatisierung}

MD_3:= {geographische Größe und Lage des betrachteten Raumes, verkehrsmäßige Lage, Entfernung: Absatzort - Produktionsort, Klima, räumliche Gliederung, räumliche Verteilung von Produktion und Nachfrage bzw. Angebot und Nachfrage, Ballungsgebiet - Entleerungsgebiet, Einkommensstreuung, Anzahl und Zustand der Verkehrswege, Grundstückspreise}

MD_4:= {Bevölkerungszahl, Bevölkerungsdichte, Bevölkerungsbewegung, Anzahl privater Haushalte}

MD_5:= {Ebenen der Verkehrswertigkeit[1)]}

MD_6:= {Ebenen der Affinität[2)]}

MD_7:= {Kosten, Preise, Tarife}

MD_8:= {Zeit}

MD_9:= {Kostenminimierung, Gewinnmaximierung, Steigerung des Marktanteils, Werbung, Ausnutzung vorhandener Kapazitäten, Investitionstätigkeit, Investitionsneigung, Absatzsteigerung, Betriebsgröße, Betriebsart (Fertigungsbetrieb, Verarbeitungsbetrieb), Kundenbetreuung, Konkurrenzmechanisierung, Marktanteil, Preiswettbewerb, technischer Fortschritt, zeitliche Disposition, Wahl der Produktionstechnik}

MD_{10}:= {sonstige Determinanten}

---

1) Siehe S.108 f.

2) Ebenda

Diese Determinanten, die von Voigt einzeln und im Zusammenhang auf ihre Auswirkungen hin untersucht wurden (er analysiert die Dynamik des marktwirtschaftlichen Prozesses unter dem Aspekt der räumlichen Gestaltungskraft des Verkehrssystems), sowie die bereits betrachteten Werkzeuge 'Verkehrswertigkeit' und 'Affinität' sind wesentliche Grundlagen für den Aufbau eines Entscheidungssystems mit Hilfe moderner Methoden. Das Werk von Voigt gibt Auskunft darüber, welche Determinanten in welchen Zusammenhängen zu entscheidenden ökonomischen Aussagen über das Verkehrssystem führen. Ein großer Mangel liegt hier allerdings darin, daß die systemtheoretische Denkweise fehlt. Ohne ihre Anwendung ist es nicht möglich, die wertvollen Untersuchungsergebnisse in die Planung mit modernen Methoden einzubauen. Deshalb muß ein großer Teil der Kraft, die für den Aufbau eines neuen Entscheidungssystems für die Verkehrspolitik aufzuwenden ist, darauf verwendet werden, Probleme zu formulieren und Lösungen wiederzuentdecken, die schon vertraute Teile der verbalen verkehrswissenschaftlichen Literatur sind. Diese Arbeit ist sehr langwierig und umfangreich. Sie erfordert den Einsatz eines Teams und kann deshalb im Rahmen dieser Untersuchung nicht durchgeführt werden.

IV. Hilfsmittel für den Planungsprozeß

1. Ist-Aufnahme und Ist-Analyse des bestehenden Verkehrssystems

Verkehrsinvestitionen sind nie isoliert zu betrachtende Einzelinvestitionen. Die mit Hilfe dieser Investitionen zu schaffenden Systemkomponenten müssen deshalb so geartet sein, daß sie sich in das bereits bestehende Verkehrssystem optimal einfügen. Um dies sicherzustellen, ist eine Ist-Aufnahme des bestehenden Systems durchzuführen. Danach vergleicht man das bestehende Verkehrssystem mit dem im Zielsystem genannten Soll-Konzept für ein künftiges Verkehrssystem. Dieser Soll-Ist-Vergleich läßt die Schwachstellen des bestehenden Systems klar erkennen. Dann muß ein Weg gesucht werden, diese Schwachstellen im Rahmen der technisch-wirtschaftlichen Möglichkeiten zu beseitigen, was nicht zwangsläufig zu neuen Investitionen führen muß. Das bestehende Zielsystem und die Erkenntnisse aus dem Soll-Ist-Vergleich verlangen nach einer Reihe konkreter Maßnahmen. Mit Hilfe der Nutzwertanalyse können die möglichen alternativen Maßnahmen bewertet werden.

Es ist klar, daß es ein ideales Verkehrssystem nicht geben kann. Für die Raumüberwindung durch Personen, Güter und Nachrichten benötigt man Zeit und Energie. Angesichts der knappen Energie muß ein Verkehrssystem so funktionieren, daß der Verbrauch an Energie minimiert wird. Aufgrund der arteigenen Vorteile der einzelnen Verkehrsmittel muß versucht werden, eine unter gesamtwirtschaftlichen Gesichtspunkten optimale Verkehrsleistung zu erbringen. In vielen Fällen kann dies durch den kombinierten Einsatz verschiedener Verkehrsmittel für den Transport eines Gutes erreicht werden (kombinierter Verkehr).

Die Ist-Analyse ist so anzulegen, daß man nach ihrer Durchführung erste Vorschläge für eine Rationalisierung des bestehenden Systems ableiten kann. Eine Investitionsplanung im Verkehrswesen muß, bevor man sich für neue Investitionen entscheidet, auf eine Rationalisierung abzielen. Es muß darauf geachtet werden, daß die vorhandenen Komponenten des Verkehrssystems optimal ausgenutzt werden, was gerade im Zeichen der Energieknappheit und des Umweltschutzes erforderlich erscheint. Ein EDV-gestütztes Informationssystem muß als Vorbedingung für eine solche Rationalisierung unbedingt vorhanden sein. Ferner ist ein solches Informationssystem eine wichtige Grundlage für die Verwirklichung des kombinierten Verkehrs, durch den es ermöglicht werden soll, die Verkehrsmittel so einzusetzen, daß sie für die ihrer Art am meisten entsprechenden Transportleistungen verwendet werden können.

Im militärischen Bereich ist ein "Verkehrsführungssystem Straße" in der Entwicklung mit dem Ziel, die Verfahren und Mittel bereitzustellen, die notwendig sind, um mit diesem EDV-gestützten Informationssystem den militärischen Straßenverkehr in ganz bestimmten Situationen optimal planen, bearbeiten, koordinieren, überwachen und steuern zu können. In diesem Zusammenhang wurde eine Ist-Aufnahme des bestehenden Straßennetzes zur Erstellung einer Straßendatenbank durchgeführt. Diese Datenbank, die u.a. Daten des Straßennetzes (z.B. Knoten, Strecken, Brücken, Belegungen) enthält, ist so ausgelegt, daß

- vorhersehbare militärische Bewegungen in der Bundesrepublik Deutschland, die auf Grund bestimmter Ereignisse notwendig sind, optimiert und koordiniert werden können,
- eine flexible Anpassung an die Gegebenheiten durch Alternativpläne sichergestellt ist,
- eine optimale Nutzung der Verkehrswege möglich ist (z.B. kürzester Weg, kürzeste Fahrtdauer),

- die aktuellen Planungsunterlagen zeitgerecht zur Verfügung stehen.

Dieses Beispiel zeigt, daß die vorgeschlagene Ist-Aufnahme und Ist-Analyse des gesamten Verkehrssystems unter besonderer Berücksichtigung der Belange der Investitionsplanung sicherlich durchführbar ist.

Zusätzlich sollte die Ist-Analyse so ausgerichtet sein, daß nach ihrem Abschluß eine Systemsimulation auf einer digitalen Rechenanlage ohne weiteren größeren Aufwand möglich ist. Die Simulation des Verkehrssystems erfolgt durch die Abbildung des realen Verkehrssystems durch ein Modell. Will man die Auswirkungen möglicher Investitionsentscheidungen auf das Verkehrssystem untersuchen, kann man das Modell manipulieren, und das voraussichtliche Verhalten des geänderten Systems kann am Simulationsmodell überprüft werden. Daraus werden dann Schlüsse auf das Verhalten des realen Verkehrssystems gezogen, was bei dem wirklichen System unmöglich oder zu teuer wäre. Obwohl Simulationsmodelle heute schon eingesetzt werden, um die Leistungsfähigkeit von Systemen bezogen auf ihre speziellen Aufgaben zu analysieren und zu planen, stehen wir hier bei der in unserer Untersuchung betrachteten Fragestellung bezogen auf das Verkehrssystem noch ganz am Anfang. Der Aufbau einer elektronisch geführten Verkehrsdatenbank, in der alle bedeutsamen technischen, verkehrlichen und sozio-ökonomischen Daten erfaßt und ständig fortgeschrieben werden sollen, führt dorthin.[1] Durch geeignete Erweiterungen und den Zusammenschluß mit bereits bestehenden Systemen könnte ein solches Ziel sicher bald erreicht werden. Ein entscheidender Vorteil der Simulationsverfahren wäre auch, daß die Möglichkeit bestünde, bereits gefällte Investitionsentscheidungen nachträglich zu bewerten, die Simulation auf der Grundlage dieser Bewertungen durchzuführen und die daraus resultierenden Ergebnisse

1) Vgl. Verkehrsbericht 1970, S.63

mit der Realität zu vergleichen. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse können dann bei neu zu treffenden Entscheidungen berücksichtigt werden.

In der Studie "Die Grenzen des Wachstums"[1] wurde von einem interdisziplinären Forschungsteam ein globales Computersimulationsmodell aufgestellt. Es handelt sich um einen in der Öffentlichkeit stark diskutierten Versuch, die Methode der Simulation zur Prognose, Planung und Entscheidungsvorbereitung für die Bewältigung weltweiter Probleme nutzbar zu machen.

Es werden fünf wichtige Probleme untersucht:

- Industrialisierung
- Bevölkerungswachstum
- Unterernährung
- schwindende Rohstoffvorräte
- Zerstörung der Umwelt

In einem Weltmodell wurden die Veränderungen der Abhängigkeiten der fünf Hauptvariablen

- Produktionsmittel
- Bevölkerung
- Nahrung
- Rohstoffe
- Umweltverschmutzung

in Abhängigkeit von bestimmten Annahmen prognostiziert. Zur exakten Formulierung und Quantifizierung der zugrundeliegenden Fakten und Restriktionen wurde ein Gleichungssystem aus 165 Gleichungen erarbeitet.

---

1) Meadows, D.L. u.a., Die Grenzen des Wachstums, Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit, Reinbek bei Hamburg 1973

Die Simulation wurde in drei Phasen aufgeteilt:

- In einer ersten Phase wurde das Modell mit Hilfe der Daten aus den Jahren 1900 - 1970 an der uns bekannten Entwicklung der Vergangenheit überprüft.
- In einer zweiten Phase wurde eine Prognose über die o.a. fünf Hauptvariablen für die Zeit von 1970 - 2100 erarbeitet.
- In der dritten Phase wurden in Experimenten die jeweiligen Annahmen verändert und die daraus resultierenden Auswirkungen für den Zeitraum von 1970 - 2100 berechnet.

Die Vorgehensweise und die Ergebnisse in dieser Studie werden deshalb hier erwähnt, weil ihnen im Rahmen dieser Untersuchung eine doppelte Bedeutung beigemessen werden kann. Erstens muß die Verkehrsinvestitionsplanung heute die Ergebnisse und Vorschläge dieser Studie bei ihren grundsätzlichen Überlegungen unbedingt berücksichtigen. Zum zweiten zeigt die Tatsache, daß ein solcher Versuch, der auf der Basis der auch in dieser Untersuchung genannten Methoden und Maschinen erfolgreich durchgeführt werden konnte, daß eine Realisierung dieses Grobkonzeptes für die Verkehrsinvestitionsplanung durchaus praktikabel ist.

2. Das EDV-gestützte Management-Informations-System als Planungshilfsmittel

Um die mathematischen Methoden des OR bei der verkehrspolitischen Investitionsplanung mit Aussicht auf Erfolg einsetzen zu können, bedarf es der modernen elektronischen Rechenanlagen. Simulationsverfahren können ebenfalls nur mit Hilfe eines Computers durchgeführt werden. In der Phase der Zielentwicklung für die Investitionsplanung müssen vergangenheits-, gegenwarts- und zukunftsorientierte

Informationen (Grundlagenwissen) zur Verfügung stehen, die mit problemgerechtem Inhalt, in zweckmäßiger Form und zur rechten Zeit für Entscheidungen und Dispositionen abgerufen werden können. Das multivariable Zielsystem sowie die Durchführung einer Ist-Aufnahme des bestehenden Verkehrssystems verursachen ein riesiges Datenaufkommen, dessen Verarbeitung und Nutzung bei der Investitionsplanung nur mit Hilfe eines Informationssystems auf der Basis der EDV möglich ist. Die Informationssysteme auf der Basis elektronischer Datenverarbeitungsanlagen sind unter dem Begriff "Management-Informations-Systeme (MIS)" als Führungssysteme der oberen Entscheidungsebenen von Organisationen bekannt geworden. Waren bis vor wenigen Jahren die Versuche der Erfassung solch komplexer Zusammenhänge, wie sie in dieser Untersuchung vorgeschlagen wurden, schon aus technischen Gründen zum Scheitern verurteilt, so bestehen technische Beschränkungen heute nicht mehr. Da die besten Modelle unbrauchbar sind, wenn die benötigten Daten nicht oder nicht rechtzeitig zur Verfügung stehen, und wenn ferner die notwendigen Berechnungen mit Hilfe von Algorithmen nicht durchführbar sind, kann man behaupten, daß es sich nicht lohnt, ohne den Computer Investitionsplanung mit Hilfe moderner Methoden durchzuführen. Obwohl ein ständig wachsender Bedarf an Informationen vorliegt, mußte ein aufgrund der Informationsexplosion in den letzten Jahren ständig größer werdender Informationsvorrat ungenutzt bleiben. Dieser hätte bei einer möglichen Nutzung gerade in der Verkehrsinvestitionsplanung zu erheblichen Verbesserungen beitragen können. Nachdem auf Grund des derzeitigen Standes der Technik in der EDV die technische Basis für ein Management-Informations-System vorhanden ist, sollte diese Möglichkeit genutzt werden, denn nur ein rechnergestütztes Management-Informations-System kann das Hilfsmittel für eine optimale Verkehrspolitik und die Entscheidungsfindung auf höchster Ebene bilden, da das Investitionsentscheidungsproblem zu einem

großen Teil ein Informationsproblem ist. Information ist sowohl zur Entscheidungsfindung als auch zur Durchsetzung einer Entscheidung erforderlich. Die Informationsversorgung des Politikers für seine Praxis ist bisher noch unbefriedigend, obwohl die Computertechnik in der Lage wäre, die für den Entscheidungsprozeß relevanten Informationen vollständig, richtig, verständlich, aktuell, pünktlich und nachprüfbar bereitzustellen. Damit ist es möglich, die bisher unzulänglichen Entscheidungsgrundlagen, die oft zu viel oder zu wenig, zu detaillierte oder zu komprimierte, schwer oder überhaupt nicht vergleichbare und möglicherweise noch veraltete Informationen enthielten, durch bessere zu ersetzen.

3. Vorgehensweise beim Aufbau eines Management-Informations-Systems[1] (MIS) für die Verkehrspolitik

Will man ein MIS für die Verkehrspolitik aufbauen, so muß man, um realistisch zu bleiben, sich von Anfang an darüber im klaren sein, daß es die totale Information nicht geben kann. Damit ist es auch sinnlos, gleich ein vollständiges MIS entwickeln zu wollen, das allen Anforderungen gerecht wird. Dieses Entwicklungsbestreben ist unrealistisch wegen

- der Unmöglichkeit der Strukturierung und Formalisierung des gesamten Entscheidungsprozesses,
- fehlender qualifizierter Fachkräfte,

---

1) Management-Information ist das Wissen über vergangene, derzeitige und erwartete Realitäten, das die Basis für die Erfüllung der Management-Aufgabe (Entscheiden) bildet.
Informationssystem ist das Hilfsmittel für die Erfüllung der Management-Aufgabe und stützt sich im wesentlichen ab auf Geräte, geordnete Datenbestände und Methoden, mit deren Hilfe in bestimmten Entscheidungssituationen die benötigten Informationen gewonnen werden können.

- hoher Kosten,
- schwerwiegender Eingriffe in die bestehende Organisation,
- der zeitlichen Dauer einer solchen Entwicklung,
- der zur Zeit praktizierten Vorgehensweise.

Diese Gründe mögen genügen, um die Entwicklung eines Totalsystems nicht weiter anzustreben.

Die Entwicklung eines MIS für das Verkehrssystem sollte in mehreren Phasen ablaufen.

- Aufbau eines Teams für die Erstellung eines Konzeptes,
- Festlegen der Aufgaben an das MIS,
- Ermittlung des Datenaufkommens.
  Bei der Festlegung der Aufgaben und der Ermittlung des Datenaufkommens genügt es nicht, das bisherige manuelle Verfahren zu automatisieren, sondern der bisherige Prozeß der Informationsversorgung muß neu gestaltet werden.
- Erarbeitung eines Rahmenkonzeptes für das gesamte MIS,
- Aufgliederung des MIS in Teilsysteme,
- Darstellung des Zusammenwirkens der Teilsysteme,
- Festlegen der Aufgaben und des Datenaufkommens der Teilsysteme,
- Festlegen von Prioritäten für die Entwicklungsreihenfolge der Teilsysteme nach ihrer Bedeutung für die Planung,
- Entwicklung der Teilsysteme,
- Integration der Teilsysteme,
- Ausbildung der mit dem MIS arbeitenden Personen,
- Umstellung des bestehenden Verfahrens und Einführung der Teilsysteme in die bestehende Planungsorganisation.

Die technische Auslegung eines MIS für die Investitionsplanung im Verkehrswesen bringt wenige Probleme mit sich, da die z.Zt. auf dem Markt vorhandene Hard- und Software die unter B.V. genannten Anforderungen im wesentlichen abdeckt. Probleme liegen lediglich in der Bereitstellung spezieller Entscheidungsprogramme für die Verkehrspolitik. Hierzu sind individuelle Entwicklungen notwendig.
Die Tatsache, daß vergleichbare MIS bereits erstellt wurden bzw. in der Entwicklung sind, zeigt, daß diese Vorgehensweise durchaus erfolgversprechend ist.

4. Die Verwendung des MIS

Seit 1971 ist in Rheinland-Pfalz ein Landesinformationssystem im Aufbau.[1] Die Aufgabenstellung für das Projekt 'Landesinformationssystem Rheinland-Pfalz' ist vergleichbar mit der Aufgabenstellung in dieser Untersuchung, nämlich Parlament und Regierung Planungsdaten für Regional-, Landes- und Fachplanung sowie die benötigten Entscheidungsunterlagen zur Beurteilung alternativer Möglichkeiten und Daten zur Kontrolle der Wirksamkeit politischer Aktivitäten zur Verfügung zu stellen. Damit sollen gleichzeitig die drei Probleme:

- Auswahl und Sammlung relevanter Daten,
- Schaffung eines flexiblen Auswertungssystems,
- bedarfsorientierte, benutzerfreundliche Darbietung der Daten

gelöst werden. Obwohl die schwierigste Phase, nämlich die Entwicklung von Auswerteprogrammen, die die unbeschränkte

---

1) Vgl. Maxeiner, K., Dietrich, K.D., Ringhoffer, J., Das Projekt Landesinformationssystem Rheinland-Pfalz, in: IBM-Nachrichten, 23.Jg. (1973), Heft 218, S.847-854

Ebenfalls soll der in der in der Entwicklung befindliche Datenverarbeitungs-Verbund in der öffentlichen Verwaltung des Landes Nordrhein-Westfalen als Beispiel genannt werden. Hier wird angestrebt, daß alle Teilbereiche der öffentlichen Verwaltung in einem Verbundsystem der Datenverarbeitung zusammenwirken

Kombinierbarkeit der Daten, Korrelations-, Regressions- und Faktenanalysen, Modellrechnungen, Prognosen, Extrapolationen und Trendberechnungen ermöglichen sollen, noch nicht abgeschlossen ist, zeigt dieses Beispiel, daß der Vorschlag der Errichtung eines solchen Informationssystems für die Verkehrspolitik durchaus realistisch ist.

Man muß sich allerdings darüber im klaren sein, daß die Einführung eines MIS nicht ohne Probleme abläuft, denn die historisch gewachsenen Organisationsstrukturen in der öffentlichen Verwaltung, festgelegte Kompetenzen und psychologische Schranken bilden Hinderungsgründe, die es zu überwinden gilt. Hinzu kommen technische Schwierigkeiten in der Einführungsphase des MIS.

Die Verwendung eines MIS würde für die Verkehrspolitik folgende Vorteile bringen:

- Zielorientierte Verarbeitung größerer Datenmengen in kürzerer Zeit,
- Umfassendere Analysen der Investitionsalternativen,
- Feststellung und Analyse von Zielkonflikten,
- Beschleunigung des Entscheidungsprozesses durch bedarfsgerechte Informationsversorgung,
- Aktualisierung der Entscheidungsinformation,
- Verminderung des Planungsrisikos,
- Dokumentation des Entscheidungsprozesses,
- Möglichkeit der Erfolgskontrolle,
- Minimierung des Verlustes an Wissen und Erfahrung.

"Die Hauptaufgabe der Computeranwendung ist nicht die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine sondern zwischen Mensch und Information, die in Form von Daten und Algorithmen in den Speichermedien des Computers gespeichert und

von dort abgerufen wird."[1] Trotz all seiner Fähigkeiten kann der Computer nichts leisten, was nicht vorher Schritt für Schritt vom Menschen durchdacht und vorgegeben worden ist. Die erheblich schnellere, präzisere und logisch konsequentere Arbeit kann den gesunden Menschenverstand und das schöpferische Element im Menschen nicht ersetzen. Deshalb ist der Computer zwar eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung für das Gelingen des in dieser Arbeit beschriebenen Vorhabens, denn die Information ist für uns wesentlich, wobei das Management-Informations-System nur ein Mittel zum Zweck ist.

5. Auswirkungen der Verwendung eines MIS

Die Einführung und Verwendung eines EDV-gestützten Informationssystems zieht sachliche, finanzielle und auch personelle Konsequenzen nach sich und ist deshalb nicht ohne Risiko durchzuführen. Vor allem mangelnde Erfahrung bei den potentiellen Anwendern ist eine Ursache dafür. Entscheidet man sich jedoch für die Erarbeitung und die Implementierung eines Informationssystems auf Computerbasis, so ist diese Entscheidung ebenfalls eine Investitionsentscheidung von erheblichem Umfang und großer Tragweite, die selbst dem Wirtschaftlichkeitsprinzip unterworfen werden muß.[2] Das Wirtschaftlichkeitsprinzip betrifft sowohl die Auswahl der richtigen Maschinenkonfiguration als auch die Programmentwicklung und Verfahrensweisen.[3] Selbst die Verwendung des neuesten Computers in einem solchen Informationssystem gewährleistet noch keinesfalls eine hohe Wirtschaftlichkeit, besonders dann nicht, wenn die Erfahrung beim Anwender fehlt.

---

1) Chorafas, D.N., a.a.O., S.17

2) Vgl. Dworatschek, S., Management-Informations-Systeme, Berlin-New York 1971, S.178

3) Vgl. Chorafas, D.N., a.a.O., S.73

Mit der Entwicklung eines EDV-gestützten Informationssystems stellt sich auch das Problem der organisatorischen Eingliederung in die öffentliche Verwaltung, was zwangsläufig dazu führt, daß die traditionell gewachsene Organisation der Verwaltung einer gründlichen Analyse unterzogen werden muß. Dies hat Konsequenzen, denn an Stelle des zur Zeit üblichen sukzessiven Ressortdenkens muß das simultane Systemdenken Fuß fassen. Dadurch wird nicht nur eine Änderung des Führungsstils in der öffentlichen Verwaltung notwendig sondern auch eine Änderung in der personellen Zusammensetzung. Die Arbeit mit dem Informationssystem erfordert einen partnerschaftlichen Führungsstil und intensive sachliche Kooperation.

In diesem Zusammenhang müssen auch verstärkt sozialpsychologische Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Es muß vor allem gelingen, dem in Zusammenarbeit mit einem Informationssystem tätigen Menschen ein Erfolgserlebnis in seiner Arbeit zu verschaffen. Dies wird gelingen, wenn der durch den Computer für kreative Tätigkeiten und Führungsaufgaben freigestellte Mensch erkennt, daß ihm trotz allem genügend Entscheidungsspielraum bleibt, und daß ihn die technische Beherrschung des Computers auch in Zukunft nicht davon befreit, selbst seinen Bedarf an Information kritisch zu bestimmen.

V. Vorschlag zur Planungsorganisation und -strukturierung

Die zunehmende Komplexität des Verkehrssystems erfordert einerseits immer mehr Planung, andererseits nimmt die Möglichkeit, daß diese Planung erfolgreicher wird, mit der wachsenden Komplexität des Systems ab. Diesem Gesichtspunkt muß der organisatorische Aufbau der Planung Rechnung tragen.

Der Schwierigkeitsgrad der Lösung eines Planungsmodells wächst mit seiner Größe. Die Modelle sind nicht mehr rechenbar, da die Kapazität der Datenverarbeitungssysteme bei einer großen Anzahl von Variablen und Restriktionen nicht ausreicht.
Man kann dieser Schwierigkeit durch eine Vergröberung der Planungsmodelle begegnen, was zwangsläufig den Übergang zu einem anderen Zielsystem (z.B. dem der Grobplanung) bedeutet.
Eine andere Möglichkeit ist eine Zerlegung der Planungsprobleme in eine Menge von Teilproblemen. Eine solche Zerlegung in Teilprobleme ist keineswegs eindeutig sondern auf mehrere Arten durchführbar. Der Hauptzweck einer solchen Aufspaltung der Investitionsplanung für das gesamte Verkehrssystem in Teilprobleme ist die Suche nach einer solchen Zerlegung, für deren Problemlösung man bekannte Lösungsmethoden (z.B. OR-Methoden) einsetzen kann.
In der Verkehrspolitik wäre z.B. eine Zerlegung nach Planungsregionen, nach verschiedenen Verkehrsträgern, nach zeitlichen Planungsperioden, nach Entscheidungskompetenzen oder einer Kombination aus obigen Kriterien möglich.

Es empfiehlt sich, eine Vergröberung der Modelle und eine Zerlegung in Teilprobleme gleichermaßen durchzuführen,

wenn Planungsmodelle nicht rechenbar sind.[1] Die Gefahr ist, daß die Modellvereinfachung oft nur durch das Weglassen wichtiger Informationen erreicht werden kann. Weiter besteht die Schwierigkeit, die Teilprobleme wieder zu einem Ganzen zu vereinigen. Es können sich bei dieser Zusammenfassung neue Kriterien ergeben, die nicht aus der Summe der einzelnen Teilprobleme ableitbar sind. Beispielsweise werden durch eine isolierte Bewertung von einzelnen Komponenten des Verkehrssystems und die anschließende Aggregation der Bewertungsergebnisse möglicherweise bestehende Abhängigkeiten zwischen den Systemkomponenten vernachlässigt. Für die optimale Investitionsplanung im Verkehrswesen müssen solche Teilinvestitionen bzw. Investitionsprogramme aufgestellt werden, die durch ein einheitliches Ziel zu einem ganzheitlichen Investitionsprogramm für das Gesamtsystem verbunden sind.

In diesem Zusammenhang haben die Dekompositions-(Partitions-) Methoden große Bedeutung bei der Lösung von Optimierungsproblemen bei komplexen linearen Systemen.[2] Ähnlichkeiten mit den Dekompositionsmethoden hat der Zerlegungsalgorithmus in dem makroökonomischen Modell der Zweiebenenplanung von Kornai und Liptak.[3] Es soll hier eine Optimierung in den einzelnen Sektoren einer Volkswirtschaft gleichzeitig mit den gesamtwirtschaftlichen Plänen einer Zentrale zur Optimierung der gesamten Volkswirtschaft eines Landes durchgeführt werden.

---

1) Vgl. Schöberl, M., Lineare Programmierung in der Verkehrsplanung, Göttingen 1973, S.118 f.

2) Vgl. Adam, A., Helten, E., Scholl, F., Kybernetische Methoden und Modelle, Köln u.Opladen 1970, S.73 ff. Schiefer, G., Zur Anwendung linearer Dekomposition, in: Proceedings in Operations Research 3, Würzburg-Wien 1974, S.476-477

3) Kornai, J., Mathematische Methoden bei der Planung der ökonomischen Struktur, Berlin 1967, S.329 ff. Kornai J. u. Liptak, T., Two-Level-Planning, in: Econometrica 33 (1965), S.141-169

Dazu werden in der Zentrale zulässige zentrale Planungsprogramme zur Erreichung eines Gesamtoptimums festgelegt. In den untergeordneten Sektoren werden dazu optimale Teilplanungsprogramme bestimmt, denn die Zentrale kann wegen der ihr fehlenden Einzelkenntnisse nicht über den Sektor verfügen.

Die Zentrale ist bestrebt, Abweichungen vom optimalen gesamtwirtschaftlichen Ertrag zu minimieren. Die Sektoren melden nach Prüfung der ihnen zugewiesenen Ressourcen und Planzahlen mögliche Fehleinschätzungen zurück, um die sektoralen Verluste zu minimieren. Durch stufenweises Vorgehen erhält man eine Mischung aus den beiden Strategien und kommt damit zur Optimierung. Die Lösung der Optimierungsaufgabe wird mathematisch zu einem Zweipersonenspiel.[1] Die beiden Personen werden repräsentiert durch die Zentrale und die Gemeinschaft der Sektoren. Durch abwechselnde Züge der beiden Gegenspieler (Vorgabe von Richtzahlen - Rückmelden der Schattenpreise) erhält man ein endliches Iterationsverfahren, das zur Lösung des Spieles führt. "Durch die Informationsströme von der Zentrale zu den Sektoren und umgekehrt wird das System einer zentral geplanten und geleiteten Volkswirtschaft ständig dem neuen Informationsstand angepaßt und dem Optimum angenähert. Dieses Modell eignet sich auch besonders dafür,die einzelnen Phasen der Planung zu simulieren, Abhängigkeiten und Zusammenhänge der Zentrale und der Sektoren darzustellen und Sensibilitätsanalysen durchzuführen...".[2]

Wenn auch die Verfahren für die Investitionsplanung im Verkehrswesen nicht direkt anwendbar sind, so ist doch das methodische Vorgehen bei der Zweiebenenplanung geeignet, den verkehrspolitischen Planungsprozeß zu strukturieren und zu organisieren, um Abhängigkeiten und Zusammenhänge zwischen den planenden Instanzen systematisch zu erarbeiten. Ferner enthält diese methodische Vorgehensweise auch die bisher fehlenden Möglichkeiten einer wirksamen Planungskontrolle und einer dynamischen Planung.

---

1) Vgl. Adam, A., Helten, E., Scholl, F., a.a.O., S.76 f.
2) Ebenda, S. 77

Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlußfolgerungen

Die öffentliche Hand bedarf wegen der großen Tragweite politischer Entscheidungen möglichst umfassender Entscheidungshilfen. Verkehrsinvestitionsentscheidungen werden heute immer noch auf Grund momentaner (oft sogar zufälliger) Kräftekonstellationen in den Entscheidungsgremien gefällt und nicht nach sorgfältig ausgearbeiteten Prioritäten mit Hilfe wissenschaftlich gesicherter Bewertungsverfahren. Die Untersuchung zeigt, daß diese Tatsache folgende Ursachen hat:

- die Komplexität des vorhandenen Verkehrssystems in seiner Struktur und in seiner Funktionsweise,
- der hohe Verflechtungsgrad des Verkehrssystems mit der Gesamtgesellschaft,
- die Vielfalt der durch das Verkehrssystem hervorgerufenen Effekte, ihre Erfassung und Bewertung,
- das dynamische Zusammenwirken zwischen dem Verkehrssystem und der Umwelt im Zeitablauf,
- die Ungewißheit über die Zukunft bezüglich der gesellschaftlichen Bedürfnisse und des technischen Fortschritts,
- das menschliche Verhalten im Entscheidungsprozeß,
- die Vielzahl der vorhandenen Planungsgremien und die mangelnde Koordination,
- die Schwächen der vorhandenen und verwendeten wissenschaftlichen Planungsmethoden,
- die fehlende interdisziplinäre Zusammenarbeit,
- die geringe Transparenz der politischen Entscheidungsprozesse.

Im Verlaufe dieser Untersuchung wurde festgestellt, daß eine Verbesserung der derzeitigen Investitionsplanung im Verkehrswesen trotz der aufgezeigten Probleme möglich ist.

Die Systemanalyse als methodisches Werkzeug gestattet es, komplexe Systeme besser in den Griff zu bekommen. Die Beherrschung des Verkehrssystems hängt sehr stark ab von der Möglichkeit einer Systembeschreibung. Für die in dieser Untersuchung als wesentlich erachteten zwei Aspekte

- Struktur (Aufbau),
- Zeitlicher Ablauf der Verkehrsvorgänge im System

für eine Analyse und Beschreibung des Verkehrssystems wurden Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt.

Die Erarbeitung eines problemgerechten, umfassenden und operationalen Zielsystems für die Verkehrspolitik, das eingebettet in ein gesamtgesellschaftliches Zielsystem eine Erfassung und Bewertung der direkten und indirekten Folgewirkungen von Verkehrsinvestitionen ermöglicht, ist der nächste Schritt zur Verbesserung der derzeitigen Planungspraxis.

Zielgerechte Entscheidungen in der Verkehrspolitik im Rahmen einer ganzheitlichen Systembetrachtung und aktuelle und qualitativ hochwertige Informationen sind direkt voneinander abhängig. Die Qualität der Informationen wird bewirkt durch die Art, Menge und Aktualität der zur Informationsgewinnung vorhandenen und benutzten Daten, durch deren Organisation, durch die Möglichkeit ihrer problemgerechten Aufbereitung und durch ihre Verfügbarkeit. Die Qualität der Daten über die Zukunft ist direkt abhängig von der Qualität der bei ihrer Erstellung verwendeten Prognoseverfahren.

Die dienenden Hilfsmittel für die Bereitstellung der Daten und ihre Verarbeitung zu problemgerechten Informationen sind die Technik der elektronischen Datenverarbeitung (EDV) und die Methoden des Operations Research. Die Methoden des OR und die Möglichkeiten der EDV haben zunächst keinen speziellen Inhalt bezogen auf das Problem der Investitionsplanung im Verkehr. Sie erhalten diesen Inhalt und ihre Bedeutung für die Problemlösung erst dann, wenn sie nach dem dargelegten Konzept in ein Management-Informations-System (MIS) integriert werden. Die technische Entwicklung der EDV, aber auch die Entwicklung theoretischer Methoden des OR ist wesentlich schneller vorangekommen als ihre praktische Verwendungsmöglichkeit in problembezogenen Management-Informations-Systemen. Es fehlt hier an geeigneten Konzepten zur Überbrückung der Lücke zwischen Theorie und Praxis.

Die mit Hilfe von OR und EDV gewonnenen Ergebnisse können nicht direkt sondern erst nach einem Umsetzungsprozeß für die Planungspraxis genutzt werden. Der Aufwand für diesen Umsetzungsprozeß hängt sehr stark davon ab, wieweit es dem Menschen gelingt, die für den Entscheidungsprozeß notwendigen Denk- und Arbeitsschritte so zu formulieren, daß ihre Programmierung möglich ist, und daß diese Schritte dann von einem MIS durchgeführt werden können.

Methoden der Simulation gestatten es, nach erfolgter Systembeschreibung das Verkehrssystem und seinen funktionalen Ablauf auf einem Computer in einem Modell nachzubilden. Die Simulation ist ein geeignetes Mittel zur Prüfung der auf Grund von Verkehrsinvestitionen erwarteten Änderungen des Verkehrssystems an einem Modell. Sie ist damit ein Hilfsmittel zur Feststellung der Zielwirkungen.

Die Aussagekraft der Kosten-Nutzen-Analyse in der Verkehrsplanung kann durch den Einsatz eines MIS wesentlich

erhöht werden, da mit Hilfe des Computers mehr Daten nach problemgerechteren Kosten-Nutzen-Kriterien im Analyseprozeß berücksichtigt werden können.
Die Problemdarstellung und der grobe Lösungsvorschlag der vorliegenden Untersuchung sollen mit dazu beitragen, der derzeitigen Verkehrspolitik von einer reagierenden (mehr passiven) Ausgabenpolitik zu einer aktiven, aufgabenbezogenen Planungspolitik auf der Basis eines langfristigen, gesamtgesellschaftlichen Zielsystems zu verhelfen.

Neben der erforderlichen Bereitschaft der entscheidenden Gremien, ihre Entscheidungen transparenter zu machen und sich nicht nur der Lösung von Einzelproblemen sondern auch der Problemdefinition, -analyse und -strukturierung zuzuwenden, ist eine Bereitschaft in den verschiedenen Wissenschaften erforderlich, durch interdisziplinäre Arbeit eine Annäherung in den unterschiedlichen Denkweisen zu erreichen. Nur durch eine solche Arbeitsweise können in Zusammenarbeit mit Politik und Wirtschaft wesentliche Fortschritte in der Verwendung und Weiterentwicklung anwendungsorientierter Methoden erzielt werden.

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

ALTMANN, E., Nutzwertanalyse, in: Lehrgangsunterlagen der Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung (GMD), Bonn 1974

ABADIE, J. (Hrsg.), Integer and Nonlinear Programming, Amsterdam-London 1970

- Nonlinear Programming, Amsterdam 1967

ABBOT, L., Quality and Competition, New York 1955

ACKOFF, R.L., SASIENI, M.W., Operations Research, Stuttgart 1970

ADAM, A. HELTEN, E., SCHOLL, F., Kybernetische Methoden und Modelle, Köln und Opladen 1970

AHNER, H., Kriterien der Anwendung von Operations-Research-Modellen bei Entscheidungen über regionale Verkehrsinvestitionen, Diss.Mannheim 1969

ARIS, R., Discrete Dynamic Programming, London 1964

AUSSCHUSS für Netzplantechnik (AFN) im Deutschen Normenausschuß (DNA), Netzplantechnik, DIN 69900 Blatt 1, Februar 1970

AUTORENKOLLEKTIV, Handbuch der Netzplantechnik, Opladen 1971

- Mathematische Standardmodelle der Operationsforschung, Berlin 1971

BECKMANN, M.J., Dynamic Programming of Economic Decisions, Berlin-Heidelberg 1968

- Lineare Planungsrechnung, Ludwigshafen 1959

BEITRÄGE zur Theorie des Verkehrsflusses, Referate anläßlich des IV. Internationalen Symposiums über die Theorie des Verkehrsflusses, Karlsruhe 1968, in: Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Schriftenreihe des BMV, Heft 86, Bonn 1969

BELLMANN, R.E., Dynamic Programming, Princeton 1957

- Dynamische Programmierung und selbstanpassende Regelprozesse, München, Wien 1967

BELLMANN, R.E., DREYFUS, S.E., Applied Dynamic Programming, 3.Aufl., Princeton 1966

BERGE, C., Théorie des graphes et ses applications, Paris 1958

BERGE, C., GHOUILA-HOURI, A., Programme, Spiele, Transportnetze, Leipzig 1969

BETH, H.L., Ökonomische Grundlagen der Planung von Straßen, Berlin 1966

BEYERLE, G., Ein Beitrag zur Anwendung der Verteilungsmodelle für den innerstädtischen Individualverkehr, Diss. TH Aachen 1973

BLOHM, H., LÜDER, K., Investition, 3.Aufl., München 1974

BUNDESMINISTER für Bildung und Wissenschaft, Der (Hrsg.), Zweites Datenverarbeitungsprogramm der Bundesregierung, Bonn 1971

BRUCKMANN, G., Hochrechnungsprognosen, in: Mertens, P. (Hrsg.), Prognoserechnung, Würzburg-Wien 1973

BUNDESMINISTER für Verkehr, Der (Hrsg.), Der Mensch hat Vorfahrt. Ein Konzept des Bundesministers für Verkehr Dr.Lauritz Lauritzen, Bonn o.J.

BUNDESMINISTER für Verkehr, Abt.Straßenbau, Bewertung der Maßnahmen und deren Dringlichkeit, Stand Mai 1975

- Verkehrsbericht 1970, Bonn, Oktober 1970

BUNDESMINISTER für Verkehr und für das Post- und Fernmeldewesen, Der (Hrsg.), Jahresbericht 1971 des Bundesministers für Verkehr, Sonderdruck aus dem Jahresbericht 1971 der Bundesregierung, o.O., o.J.

BURGER, E., Einführung in die Theorie der Spiele, Berlin 1966

BUSACKER, R.G., SAATY, T.L., Endliche Graphen und Netzwerke, München-Wien 1968

BUSLENKO, N.P., Modellierung komplizierter Systeme, Würzburg 1972

BUTTLER, G., Netzwerkplanung, Würzburg-Wien 1968

CHORAFAS, D.N., Management-Informations-Systeme, München 1972

CHURCHMAN, C.W., ACKOFF, R.L., ARNOFF, E.L., Operations Research, 5.Aufl., München/Wien 1971

DAHL, R.A., LINDBLOM, Ch.E., Sieben Grundziele der Gesellschaftsgestaltung, in: Gäfgen, G. (Hrsg.), Grundlagen der Wirtschaftspolitik, Köln-Berlin 1966, S.211-236

DANTZIG, G.B., A proof of the equivalence of the programming problem and the game problem, Cowles Commission Monograph, Nr.13, Wiley 1951

- Lineare Programmierung und Erweiterungen, Berlin-Heidelberg-New York 1966

DATHE, H.M., Moderne Projektplanung in Technik und Wissenschaft, Modelle, Methoden und ihre Anwendungen, München 1971

DEUTSCHER BUNDESTAG, 7.Wahlperiode, Unterrichtung durch die Bundesregierung, Drucksache 7/1045, Bonn 1973

DISCH, W.K.A., Netzplantechnik im Marketing, Hamburg 1968

DREGER, W., Management-Informationssysteme, Systemanalyse und Führungsprozeß, Wiesbaden 1973

- Grundlagen der Systemtechnik (1), in: IBM-Nachrichten, 23.Jg. (1973), Heft 218, S.823-829

DROSTE, M., Unternehmensforschung im Straßenverkehr, in: 8.DGU-Jahrestagung, Böblingen September 1969

DÜCK, W., BLIEFERNICH, M. (Hrsg.), Operationsforschung 1, Operationsforschung 2, Berlin 1971, 1972

DWORATSCHEK, S., Management-Informations-Systeme, Berlin, New York 1971

DWORATSCHEK, S., DONIKE, H., Wirtschaftlichkeitsanalyse von Informationssystemen, Berlin, New York 1972

ELSNER, K., Mehrstufige Produktionstheorie und dynamisches Programmieren, Meisenheim 1964

ENGELMANN, H., Ansätze für die Bestimmung der Verkehrswertigkeit, in: DDR-Verkehr 11 - 1970, S.456-459

- Systemaspekte im Verkehrswesen, in: DDR-Verkehr 2 - 1969, S.18

FALKENHAUSEN, H.v., Prinzipien und Rechenverfahren der Netzplantechnik, 2.überarb. u.erw.Aufl., Kiel 1968

FEST, H.E., Zur gesamtwirtschaftlichen Konsistenz des Entscheidungskriteriums für die Auswahl öffentlicher Investitionen, Berlin 1971

FISCHER, U.E., Nutzungsformen der Datenverarbeitungssysteme, in: IBM-Nachrichten, 23.Jg.(1973), Heft 216, S.712-718

FISHBURN, P.C., Decision and Value Theory, New York 1964

FLICK, F.K., Der Qualitätswettbewerb im marktwirtschaftlichen System, Wiesbaden 1966

FÖRSTER, E., EGERMAYER, F., Korrelations- und Regressionsanalyse, Berlin 1966

FORD, L.R., FULKERSON, D.R., Flows in Networks, Princeton 1962

FRERICH, J., MELCHER, J., STEINHEUER, H., Die Methoden des Operations Research und ihre Anwendungsmöglichkeit für die Investitionsplanung im Straßenbau, in: Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, 1974, Heft 159

GÄFGEN, G., Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung, 2.durchges. u.erw.Aufl., Tübingen 1968

- Wissenschaftliche und ethische Methodenfragen des Zielkonflikts in der Wirtschaftspolitik, in: Katholisch-soziales Institut der Erzdiözese Köln (Hrsg.), Wirtschaftspolitischer Zielkonflikt und katholische Soziallehre, Köln 1968

GESSNER, P., WACKER, H., Dynamische Optimierung, München 1972

GEWALD, K., KASPER, K., SCHELTE, H., Netzplantechnik, Methoden zur Planung und Überwachung von Projekten, Bd.II, Kapazitätsoptimierung, München-Wien 1972

GOLZ, G. Gesamtwirtschaftliche Bedeutung der Verkehrswegeplanung, in: Internationales Verkehrswesen, 23.Jg. (1971), Heft 8

HALL, A.D., A Methodology for Systems Engineering, Princeton 1962

HAX, H., Investitionstheorie, Würzburg 1970

HEINEN, E., Das Zielsystem der Unternehmung, Wiesbaden 1966

HITCH, J., McKEAN, R.N., The Economics of Defense in the Nuclear Age, Cambridge 1967

HOWARD, R.A., Dynamic Programming and Markov Processes, New York 1960

HU, T.C., Integer Programming and Network Flows, Menlo Park, London, Don Mills 1969

JACOB, H., Anwendung der Netzplantechnik im Betrieb, Wiesbaden 1969

- Investitionsplanung und Investitionsentscheidung mit Hilfe der Linearprogrammierung, Wiesbaden 1971

JACOBS, F., Untersuchungen zur stochastischen Theorie des Verkehrsablaufs auf Straßen, in: Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Schriftenreihe des BMV, Heft 96, Bonn 1970

JAEGER, A., Beziehungen zwischen Mathematik und Wirklichkeit in mathematischen Modellen von empirischen Strukturen, in: Proceedings in Operations Research, Vorträge der Jahrestagung 1971 DGU, Würzburg-Wien 1972, S.15-33

JUDIN, D.B., GOLDSTEIN, E.G., Lineare Optimierung I, Berlin 1968

- Lineare Optimierung II, Berlin 1970

JÜRGENSEN, H., Probleme einer Investitionsplanung im Verkehr, in: Willeke, R. (Hrsg.), Wissenschaftliche Beratung der verkehrspolitischen Planung, Düsseldorf 1971, S.90 - 100

JURECKA, W., ZIMMERMANN, H.J., Operations Research im Bauwesen, Berlin, Heidelberg, New York 1972

KADLEC, V., VODÁCEK, L., Lineare Optimierung im Transportwesen, Köln-Opladen 1968

KAPPLER, H., Gradientenverfahren der nichtlinearen Programmierung, Göttingen 1967

KAUFMANN, A., Einführung in die Graphentheorie, München-Wien 1971

- Graphs, Dynamic Programming and Finite Games, London 1967

KAWLATH, A., Theoretische Grundlagen der Qualitätspolitik, Wiesbaden 1969

KIRSCHEN, E.S.,u.a., Ziele der praktischen Wirtschaftspolitik, in: Gäfgen, G., (Hrsg.), Grundlagen der Wirtschaftspolitik, Köln-Berlin 1966, S.237-259

KLATT, S., Die ökonomische Bedeutung der Qualität von Verkehrsleistungen, Berlin 1965

KNIPS, W., Die Problematik wirtschaftspolitischer Zielkonflikte, Tübingen 1970

KÖHLER, U., Stabilitätsuntersuchungen einiger deterministischer Fahrzeugfolgegleichungen, Karlsruhe 1972

KOELLE, H.H., Inhaltlicher Entwurf eines zielorientierten gesamtgesellschaftlichen Simulationsmodells, in: Berichte des Zentrums Berlin für Zukunftsforschung (ZBZ), Heft 21/ 1974

- Gesellschaftspolitische Zielsysteme in ihrer Bedeutung für die Verkehrsplanung, in: DVWG, Grundsatzprobleme bei Langfristprognosen im Personenverkehr, Köln 1975, S.89-112
- Das allgemeine Zielsystem und die Entwicklung eines operationalen verkehrsspezifischen Zielsystems. Referat im Verkehrswissenschaftlichen Seminar der DVWG, Colloquium IX vom 30.9. - 2.10.75 in Mainz

KÖNIG, D., Theorie der endlichen und unendlichen Graphen, Leipzig 1936

KORNAI, J., Mathematische Methoden bei der Planung der ökonomischen Struktur, Berlin 1967

KORNAI, J., LIPTAK, T., Two-Level-Planning, in: Econometrica 33 (1965), S.141-169

KOREIMANN, D.S., Methoden und Organisation von Management-Informations-Systemen, Berlin-New York 1971

KREKÓ, B., Lehrbuch der linearen Optimierung, 5.berichtigte Aufl., Berlin 1970

KRELLE, W., Produktionstheorie, Tübingen 1969

- Präferenz- und Entscheidungstheorie, Tübingen 1968
- Theorie wirtschaftlicher Verhaltensweisen, Meisenheim 1953

KRELLE, W., KÜNZI, H.P., Lineare Programmierung, Zürich 1958

KRÜGER, R., Das wirtschaftspolitische Instrumentarium, Berlin 1967

KÜNZI, H.P., Unternehmensforschung in Wissenschaft, Wirtschaft und Politik, in: Proceedings in Operations Research, Vorträge zur Jahrestagung 1971 DGU, Würzburg-Wien 1972, S.3 ff.

KÜNZI, H.P., KRELLE, W., Einführung in die mathematische Optimierung, Zürich 1969

- Nichtlineare Programmierung, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1962

KÜNZI, H.P., MÜLLER, O., NIEVERGELT, E., Einführungskurs in die dynamische Programmierung, Berlin 1968

KUHN, H.W., TUCKER, A.W., Nonlinear Programming, in: Proceedings of the second Berkley Symposium on mathematical statistics and probability, Berkley/Cal. 1950

KULHAVY, E., Operations Research, Wiesbaden 1963

LAUE, R., Elemente der Graphentheorie und ihre Anwendung in den biologischen Wissenschaften, Braunschweig 1971

LAUX, H., Flexible Investitionsplanung, Opladen 1971

LEIFMAN, L.J., Netzplantechnik bei begrenzten Ressourcen, Köln-Opladen 1968

LENZ, K.H., GARSKY, J., Anwendung mathematisch-statistischer Verfahren in der Straßenverkehrstechnik, Bad Godesberg 1968

LEUTZBACH, W., Einführung in die Theorie des Verkehrsflusses, Berlin, Heidelberg, New York 1972

LITTGER, K., Standardregister des Operations Research, München 1973

LOCKYER, K.G., Einführung in die Netzplantechnik, Köln-Braunsfeld 1968

LOHMÖLLER, G., Theorie des Qualitätswettbewerbs, Diss. Bonn 1970

MÄCKE, P.A., Verkehrstechnische und verkehrsplanerische Untersuchungen des Bundesfernstraßennetzes, Aachen 1970, in: Ausbauplan für die Bundesfernstraßen 1971-1985, Band A, Bonn 1971

MARCUS, P., Der ökonomische Inhalt der linearen Planungsrechnung, München 1966

MASCHLANKA, G., SCHOLZ, K., Netzplantechnik; Methodische Einführung, Anwendungsbeispiele, Erfahrungen, Köln 1970

MAXEINER, K., DIETRICH, K.D., RINGHOFFER, J., Das Projekt Landesinformationssystem Rheinland-Pfalz, in: IBM-Nachrichten, 23.Jg. (1973), Heft 218, S.847-854

MEADOWS, D.L., Die Grenzen des Wachstums, Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit, Reinbek bei Hamburg 1973

MELCHER, J., Der öffentliche Nachrichtenverkehr der Bundesrepublik Deutschland, Bonn 1974

MENGES, G., Grundmodelle wirtschaftlicher Entscheidungen, Köln und Opladen 1969

MENGES, G. u.a., Entscheidung und Information, Frankfurt 1968

MEYKE, U., Cost-Effectiveness-Analysis als Planungsinstrument unter besonderer Berücksichtigung von Infrastrukturinvestitionen im Verkehr, in: Forschungen aus dem Institut für Verkehrswissenschaft an der Universität Münster, Heft 16, Göttingen 1973

MERTENS, P., (Hrsg.), Prognoserechnung, Würzburg-Wien 1973

MÜLLER-MERBACH, H., Operations Research, Berlin, Frankfurt 1969

- Operations Research, 2.Aufl. München 1971
- Operations Research als Optimalplanung, in: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung, 15.Jg. (1965), Heft 4, S.191 ff.
- Optimale Reihenfolgen, Berlin, Heidelberg, New York 1970

NEMHAUSER, G.L., Einführung in die Praxis der dynamischen Programmierung, München/Wien 1969

NEUMANN, J.v., MORGENSTERN, O., Spieltheorie und wirtschaftliches Verhalten, Würzburg 1961

NIEMEYER, G., Einführung in die lineare Planungsrechnung mit ALGOL- und FORTRAN-Programmen, Berlin 1968

- Investitionsentscheidungen mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung, Berlin 1970
- Die Simulation von Systemabläufen mit Hilfe von FORTRAN IV, Berlin-New York 1972

OETTLE, K., Verkehrspolitik, Stuttgart 1967

PACK, L., Betriebliche Investition, Wiesbaden 1959

PIEHLER, J., Einführung in die lineare Optimierung, Zürich, Frankfurt 1964

- Einführung in die Dynamische Optimierung (Dynamische Programmierung), Leipzig 1966

- Ganzzahlige Lineare Optimierung, Leipzig 1970

PIRATH, C., Die Grundlagen der Verkehrswissenschaft, 2.erweiterte Aufl., Berlin-Göttingen-Heidelberg 1949

POTTHOFF, G., Die Bedienungstheorie im Verkehrswesen, Berlin 1965

- Verkehrsströmungslehre, Bd. I - III, Berlin 1962/63/65

PRIEWASSER, E., Betriebliche Investitionsentscheidungen, Berlin, New York 1972

RIBBECK, K., Routensuchen in Stadtstraßennetzen, Diss. Aachen 1971

RICHTER, K.J., Transportökonometrie, Berlin 1966

- Verkehrsökonometrie I, Köln, Opladen 1969

- Verkehrsökonometrie II, Berlin 1972

RIEGER, H., Der Gütebegriff in der Theorie des Qualitätswettbewerbs, Berlin 1962

RIVETT, P., Entscheidungsmodelle in Wirtschaft und Verwaltung, Frankfurt/New York 1974

RUTSCH, M., Entscheidungskriterien - Hilfe oder Hindernis beim Handeln ? in: Proceedings in Operations Research, Vorträge zur Jahrestagung 1971 DGU, Würzburg-Wien 1972, S.59-77

SAATY, T.L., Elements of Queuing Theory, New York 1961

SASIENI, M., JASPAN, A., FRIEDMAN, L., Methoden und Probleme der Unternehmensforschung, Würzburg 1967

SEDLÁCEK, J., Einführung in die Graphentheorie, Frankfurt, Zürich 1972

SEIDENFUS, H., Cost-benefit-analysis als Lenkungsinstrument öffentlicher Investitionen im Verkehr, Göttingen 1970

- Verkehrsmärkte, Basel, Tübingen 1959

SEUSTER, H., Einfluß und Bedeutung mathematischer Methoden bei der Planung landwirtschaftlicher Betriebsorganisationen, in: IBM-Nachrichten, 23.Jg. (1973), Heft 217, S.747-755

SUCHOWIZKI, S.I., RADTSCHICK, I.A., Mathematische Methoden der Netzplantechnik, Leipzig 1969

SCHNEIDER, D., Investition und Finanzierung, Köln und Opladen 1970

SCHNEIDER, E., Wirtschaftlichkeitsrechnung, Tübingen 1951

SCHIEFER, G., Zur Anwendung linearer Dekomposition, in: Proceedings in Operations Research 3, Würzburg-Wien 1974, S.476-477

SCHÖBERL, M., Lineare Programmierung in der Verkehrsplanung, Göttingen 1973

STROHM, D., Der Einfluß wirtschaftlicher Wechsellagen auf Verkehrsströme, Berlin 1969

TAKACS, L., Introduction to the Theory of Queues, Oxford 1962

THEIL, H., BOOT, J.C.G., KLOEK, T., Prognosen und Entscheidungen, Opladen 1971

THOMPSON, G.E., Linear Programming, New York, London 1971

THUMB, N., Grundlagen und Praxis der Netzplantechnik, München 1968

TIETZEL, M., Die Effizienz staatlicher Investitionsentscheidungen im Verkehrssektor, Diss.Bonn 1972, Bern/Frankfurt 1972

TINBERGEN, J., Centralisation and Decentralisation in Economic Policy, Amsterdam 1954

VAJDA, S., Einführung in die Linearplanung und die Theorie der Spiele, 2.Aufl., München 1966

VENTKER, R., Die ökonomischen Grundlagen der Verkehrsnetzplanung, Göttingen 1970

VÖLZGEN, H., Stochastische Netzwerkverfahren und deren Anwendungen, Berlin, New York 1971

VOGEL, W., Lineares Optimieren, 2.durchges. und ergänzte Aufl., Leipzig 1970

VOIGT, F., Die volkswirtschaftliche Bedeutung des Verkehrssystems, Berlin 1960

- Theorie der regionalen Verkehrsplanung, Berlin 1964

- Verkehr, Erster Band, Erste und zweite Hälfte, Berlin 1973

- Verkehr und Industrialisierung, in: Zeitschrift für die ges.Staatswissenschaft, Bd.109 (1953), S.198 ff.

VOIGT, J.-P., Fünf Wege der Netzplantechnik, Köln 1971

WAGNER, K., Graphentheorie, Mannheim 1970

WEDEKIND, H., Systemanalyse, München 1973

WEINBERG, F. (Hrsg.), Einführung in die Methode Branch and Bound, Berlin-Heidelberg-New York 1968

- Operations Research im öffentlichen Dienst (Übersichtsvortrag), in: Proceedings in Operations Research 5, Würzburg-Wien 1976

WEINBERG, F., ZEHNDER, C.A. (Hrsg.), Heuristische Planungsmethoden, Berlin, Heidelberg, New York 1969

WENTZEL, J.S., Elemente der Spieltheorie, Leipzig 1966

- Elemente der dynamischen Optimierung, Leipzig 1966

WERNER, Ch., Zur Geometrie von Verkehrsnetzen, Berlin 1966

WIEDEMANN, R., Verkehrsablauf hinter Lichtsignalen, in: Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Schriftenreihe des BMV, Heft 74, Bonn 1968

WILLE, H., GEWALD, K., WEBER, M., Netzplantechnik, Methoden zur Planung und Überwachung von Projekten, Bd.I, Zeitplanung, 2.Aufl., München-Wien 1967

WIRZ, W., Zur Logik des Qualitätsbegriffes, in: Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik, Bd.104 (1915)

ZADERENKO, S.G., Netzwerk - Kritischer Weg - Planungs- und Programmierungssystem, Wien 1966

ZANGENMEISTER, Ch., Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, 3.Aufl., München 1973

- Netzplantechnik, Berlin 1971

ZIMMERMANN, H.J., ZIELINSKI, J., Lineare Programmierung, Berlin, New York 1971

Lebenslauf

8. 7. 1944	in Ahrweiler geboren als Sohn des Landwirts und Winzers Peter Steinheuer und seiner Ehefrau Angela, geb. Hau
April 1951- April 1955	Besuch der Kath. Volksschule in Heimersheim/Ahr
April 1955- Febr. 1964	Besuch des Staatl. Neuspr. und Math.-Naturw. Gymnasiums in Ahrweiler und dort am
24. 2. 1964	Reifeprüfung
1. 4. 1964- 30. 9. 1965	Wehrdienst
WS 1965/66 - WS 1970/71	Studium an der Universität Bonn in den Fächern Mathematik, Physik, Philosophie und Pädagogik
29. 1. 1971	Erste Philologische Staatsprüfung in Mathematik beim Wissenschaftlichen Prüfungsamt der Universität Bonn
1. 4. 1971- 15. 4. 1973	Forschungsassistent am Institut für Industrie- und Verkehrspolitik der Universität Bonn und Doktorandenstudium in den Wirtschafts- und Gesellschaftswissenschaften
Seit dem 16. 4. 1973	Hilfsreferent (Wissenschaftlicher Mitarbeiter) beim Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung